



**RWS BEDRIJFSINFORMATIE**

## **Kwantificering scoretabellen niet sluiten**

Kwantificering van de scoretabellen voor het faalmechanisme niet sluiten

Datum	1 november 2017
Status	Definitief



## Colofon

Uitgegeven door	RWS
Informatie	Helpdesk Water
Telefoon	088-7977102
Uitgevoerd door	Bob van Bree en Arnaud Casteleijn
Datum	1 november 2017
Status	Definitief
Versienummer	1.0



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding 7</b>
1.1	Doel 7
1.2	Context 7
1.3	Opzet van deze studie 8
1.4	Leeswijzer 8
1.5	Verantwoording 9
<b>2</b>	<b>Basis foutenbomen 11</b>
2.1	Algemeen 11
2.2	Basis foutenboom Alarmering 12
2.3	Basis foutenboom Mobilisatie 13
2.4	Basis foutenboom Bediening 14
2.5	Basis foutenboom Technisch falen 15
<b>3</b>	<b>Scoretabellen bij aanvang van deze studie 19</b>
3.1	Algemeen 19
3.2	Scoretabel Alarmering 19
3.2.1	Concept-scoretabel WBI 19
3.2.2	Aanpassingen concept-scoretabel Alarmering WBI als vertrekpunt voor deze studie 19
3.3	Scoretabel Mobilisatie 20
3.3.1	Concept scoretabel WBI 20
3.3.2	Aanpassingen concept-scoretabel Mobilisatie WBI als vertrekpunt voor deze studie 20
3.4	Scoretabel Bediening 21
3.4.1	Concept-scoretabellen WBI 21
3.4.2	Aanpassingen concept-scoretabellen WBI als vertrekpunt voor deze studie 21
3.5	Scoretabel Technisch falen 22
3.5.1	Concept-scoretabel WBI 22
3.5.2	Aanpassingen concept-scoretabel WBI als vertrekpunt voor deze studie 22
<b>4</b>	<b>Vergelijking faalkansen geavanceerde analyses met faalkansen scoretabellen 25</b>
4.1	Algemeen 25
4.2	Overzicht beschouwde kunstwerken 25
4.3	Vergelijking resultaten scoretabellen met geavanceerde analyses 26
4.4	Conclusies uit de vergelijking 28
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen 31</b>
5.1	Conclusies 31
5.2	Aanbevelingen 31
5.3	Definitieve scoretabellen 31
<b>Referenties 34</b>	
<b>Bijlage A Update cases scoretabellen LK2003 35</b>	
A.1	Algemeen 35
A.2	Keersluis Schoonhoven 35
A.2.1	Korte beschrijving kunstwerk 35

A.2.2	Actualisatie foutenboom Alarmering	39
A.2.3	Actualisatie foutenboom Mobilisatie	40
A.2.4	Actualisatie foutenboom Bediening	41
A.2.5	Actualisatie foutenboom Technisch falen	44
A.2.6	Overzicht berekende faalkansen keersluis Schoonhoven	46
A.2.7	Score met scoretabellen	46
A.2.8	Vergelijking scores scoretabellen en analyse middels foutenbomen	51

**Bijlage B Kwantificering faalkansen voor Bediening 52**

**Bijlage C Beschouwing geavanceerde betrouwbaarheidsanalyses van de Meppelerdiepsluis en keersluis Limmel 59**

**Bijlage D Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade en Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever 60**

**Bijlage E WTI2017 – Verbeteren gedetailleerde toets 61**

# 1 Inleiding

## 1.1 Doel

Het voorliggende rapport is het achtergrondrapport behorende bij het rapport *Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen* [Ref. 9], waarin de vernieuwde gedetailleerde methode voor het bepalen van de betrouwbaarheid van sluiten van beweegbare waterkeringen is uitgewerkt. Deze methode bestaat uit een standaard foutenboom + scoretabel voor ieder onderdeel van de sluitingsoperatie: Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen.

In de voorliggende rapportage wordt een onderbouwing gegeven van de gewijzigde standaard foutenbomen en bijbehorende kwantificering middels de gehanteerde scores in de scoretabellen in [Ref. 9]. De uitwerking van de nieuwe kwantificering is gedaan door de berekende faalkansen met behulp van de scoretabellen te confronteren met de berekende faalkansen uit geavanceerde analyses voor een aantal kunstwerken. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in de standaard foutenbomen en scoretabellen zoals opgenomen in [Ref. 9].

Het doel van deze studie is om representatieve foutenbomen op te stellen voor de beoordelingsaspecten Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen met een zodanige kwantificering van de bijbehorende scoretabellen dat de hiermee berekende faalkansen in voldoende mate overeenkomen met de berekende faalkansen op basis van de meer gedetailleerde foutenbomen uit de onderzochte cases.

## 1.2 Context

Najaar 2015 is in het kader van het WBI het rapport *WTI 2017 Kunstwerken - Achtergrondrapport toetsspoor Betrouwbaarheid Sluiting I - Verbeteren gedetailleerde toets* [Ref. 1] opgesteld. Hierbij zijn de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 aanzienlijk vereenvoudigd en zijn onduidelijkheden en fouten in de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 verholpen. Omdat het opstellen van een volledig nieuwe en goed onderbouwde beoordelingsmethode niet binnen de planning en budget van WBI paste, is destijds gekozen voor een eerste, pragmatische aanpassing. Dit project was destijds al voorzien om een nadere uitwerkingsslag te maken.

In de WBI-beoordeling [Ref. 1] is veel meer nadruk komen te liggen op het hebben van een goed 'hoogwaterdraaiboek', waarin alle voor de sluiting van kunstwerken benodigde informatie en procedures zijn vastgelegd. De eisen aan een dergelijk draaiboek zijn nader uitgewerkt in het rapport *Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken* [Ref. 4].

Het eindconcept van het WBI-rapport [Ref. 1] is december 2015 besproken in een groep met experts<sup>1</sup>. In deze sessie werd het belang van een goed hoogwaterdraaiboek breed gedeeld. Verder werd sterk aanbevolen om de scores die met de scoretabellen behaald kunnen worden, welke waren gebaseerd op inschattingen van

---

<sup>1</sup> Hierbij waren aanwezig: Hans Niemeijer (Arcadis), Rob Delhez (Greenrivers), Bob van Bree (zelfstandig adviseur), Ruben Jongejan (Jongejan RMC), Han Vrijling (Horvat), Ton Vrouwenvelder (TNO), Martin van der Meer (Fugro), Hessel Voortman (Arcadis), Sipke van Manen (Rijkswaterstaat), Arnaud Casteleijn (Rijkswaterstaat), Bas Effing (waterschap Rivierenland), Harry Schelfhout (Deltares), Joost Bredeveld (Deltares)

het WBI-team, te verifiëren middels een aantal cases. In dit project is aan deze wens van de expertgroep invulling gegeven.

### 1.3 Opzet van deze studie

De scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 vinden hun oorsprong in de Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies uit 1997 [Ref. 3]. De onderbouwing van de scores is uitgevoerd in een studie door Fugro/TNO uit 1994 [Ref. 2]. In de voorliggende studie is begonnen met een actualisatie van deze studie uit 1994. Hiervoor wordt verwezen naar bijlage A.

Hieraan zijn vervolgens de volgende zaken toegevoegd:

- een analyse van de geavanceerde faalkansanalyse van niet-beschikbaarheid van twee recent door Rijkswaterstaat gebouwde kunstwerken, te weten de Meppelerdiepsluis en de keersluis Limmel.
- geavanceerde analyses van de betrouwbaarheid van de gehele sluitingsoperatie van twee coupures, te weten de coupure Berkelkade te Zutphen (bovenrivierengebied) en de coupure Den Oever (kust)

De uitkomsten hebben geleid tot een aanpassing van het originele WBI-rapport [Ref. 1]. Dit aangepaste rapport vormt feitelijk het hoofd rapport en bevat de scoretabellen met toelichtende teksten. Voorliggend rapport kan worden gezien als het achtergrondrapport behorend bij het hoofd rapport en kent een aantal bijlagen waarin de geavanceerde analyses zijn gerapporteerd. Daarnaast is het rapport *Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken* [Ref. 4] benodigd om de betrouwbaarheid van de sluiting te beoordelen. Hiermee ziet de documentstructuur er als volgt uit:

#### Hoofdrapport

Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen [Ref. 9]

#### Achtergrondrapporten bij hoofdrapport

- Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken [Ref. 4]
- Kwantificering scoretabellen niet sluiten (dit rapport)

#### Bijlagerapporten bij dit achtergrondrapport

- Beschouwing geavanceerde betrouwbaarheidsanalyses van de Meppelerdiepsluis en keersluis Limmel [Ref. 5]
- Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade [Ref. 6]
- Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever [Ref. 7]
- WTI 2017 Kunstwerken -Achtergrondrapport toetsspoor Betrouwbaarheid Sluiting I - Verbeteren gedetailleerde toets [Ref. 1]

### 1.4 Leeswijzer

Dit rapport begint in hoofdstuk 2 met het geven van de basisfoutenbomen voor de beoordelingsaspecten Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen. Deze foutenbomen zijn enigszins aangepast ten opzichte van de basisfoutenbomen uit de Leidraad Kunstwerken 2003.

In [Ref. 1] zijn geactualiseerde scoretabellen opgenomen ten opzichte van de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003. Deze scoretabellen zijn op basis van de eerste resultaten van dit project enigszins aangepast en vormen de start van de analyse. Op onderdelen heeft de vergelijking tussen de berekende faalkansen uit de geavanceerde analyses met de berekende faalkansen uit de scoretabellen geleid



tot een aanscherping van de scoretabellen. Hoofdstuk 3 geeft de scoretabellen die uiteindelijk zijn gebruikt in alle onderliggende analyses.

Hoofdstuk 4 vormt de kern van de rapportage. In dit hoofdstuk worden de berekende faalkansen uit de geavanceerde analyses geconfronteerd met de berekende faalkansen uit de scoretabellen.

Hoofdstuk 5 geeft tenslotte de conclusies beknopt weer en geeft een aanbeveling voor vervolg.

De confrontatie van scoretabellen met nadere analyses uit hoofdstuk 4 heeft uiteindelijk geleid tot een zeer beperkte aanpassing van de scoretabellen in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 5 zijn de definitieve scoretabellen opgenomen. Deze kunnen zowel voor ontwerpen (modules in digitale omgeving van Technische Leidraden) als beoordelen (onderdeel van WBI) worden gebruikt

## **1.5 Verantwoording**

Dit rapport is opgesteld door Arnaud Casteleijn (Rijkswaterstaat WVL) en Bob van Bree (zelfstandig adviseur). Externe kwaliteitsborging heeft plaatsgevonden door Ton Vrouwenvelder (TNO), Hans Niemeijer (Arcadis), Rob Delhez (Greenrivers), Martin van der Meer (Fugro), Jeroen Horstman (Rijkswaterstaat GPO) en Peter Blanker (Rijkswaterstaat GPO). Als onderdeel van een update van het WBI is de voorliggende rapportage met gerelateerde documenten aan het ENW verstrekt.

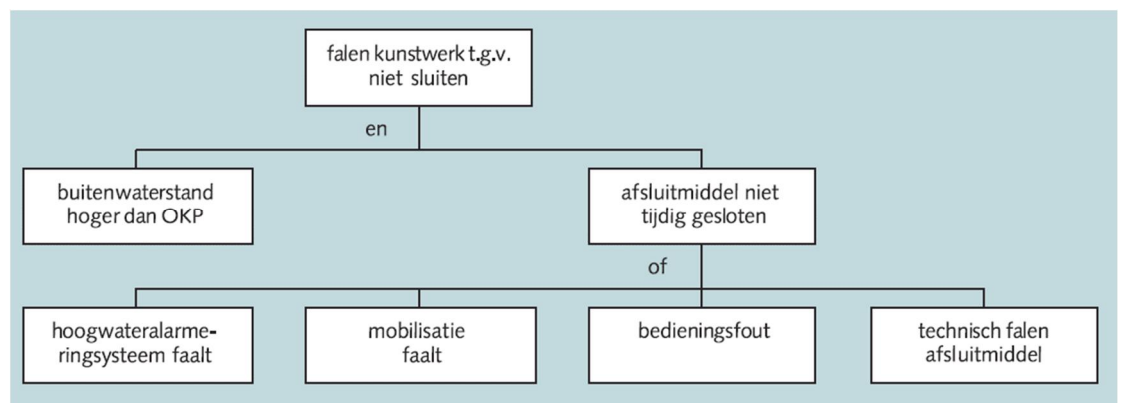


## 2 Basis foutenbomen

### 2.1 Algemeen

In de Leidraad Kunstwerken 2003 zijn basale foutenbomen gegeven voor de beoordelingsaspecten Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen. Deze foutenbomen vormden de basis voor de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003. Ook aan de aangepaste scoretabellen in het WBI [Ref. 1] liggen (in principe dezelfde) foutenbomen ten grondslag. In het WBI was deze relatie echter niet expliciet gelegd. De foutenbomen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 zijn op onderdelen in de voorliggende studie nader uitgewerkt om beter aan te sluiten op de systematiek zoals deze in de geavanceerde foutenbomen uit de cases gehanteerd is. In dit hoofdstuk worden de aangepaste foutenbomen gegeven.

De algemene foutenboom voor niet sluiten uit de Leidraad Kunstwerken 2003 blijft ongewijzigd:



Figuur 1 Foutenboom voor niet sluiten (figuur B3.8 uit Leidraad Kunstwerken 2003)

De kans op niet sluiten ( $P_{ns}$ ) volgt uit een analyse van vier aspecten onder de gebeurtenis 'afsluitmiddel niet tijdig gesloten':

- falen hoogwater waarschuwingssysteem (ALARM): falen waterstandregistratie, falen alarm, etc;
- falen mobilisatie (MOB): bedienend personeel, materiaal en materieel benodigd voor de sluiting niet tijdig op de beweegbare kering aanwezig;
- falen door bedieningsfout (BEDIEN): verkeerde handeling of nalaten handeling;
- technisch falen afsluitmiddelen (TECH): bewegingswerk faalt, niet-beschikbaarheid t.g.v. aanvaring, obstakels, etc.

Voor elk van de vier subsystemen wordt in dit hoofdstuk een standaardfoutenboom gegeven. Aan elk van de vier foutenbomen wordt vervolgens in hoofdstuk 3 een vragenlijst (scoretabel) gekoppeld. Via beantwoording van de vragen en het bijhouden van een daarmee samenhangende score, wordt een maat voor de betrouwbaarheid van dat onderdeel van de sluitprocedure voor de kering verkregen.

Score $E_i$ [-]	Kans op niet sluiten $P_{ns}$ [1/sluitvraag]
ALARM	$10^{-ALARM}$
MOB	$10^{-MOB}$
BED	$10^{-BEDIEN}$
TECH	$10^{-TECH}$

Tabel 1 Opzet score per subsysteem conform Leidraad Kunstwerken 2003

Op basis van de vier eindscores  $E_i$  wordt de kans geschat dat het afsluitmiddel niet gesloten is als dat nodig is. In de Leidraad Kunstwerken 2003 wordt ervan uitgegaan dat de eindscore gelijk is aan het beoordelingsaspect met de laagste score respectievelijk de grootste faalkans. In dat geval wordt uitgegaan van volledige afhankelijkheid van de beoordelingsaspecten, wat een ondergrens voor de totale faalkans van een seriesysteem oplevert. Zoals in de Leidraad Kunstwerken 2003 ook al wordt opgemerkt is dit een niet-conservatieve benadering. Zo is een bedieningsfout onafhankelijk van de hoogwateralarmering. Uitgaande van seriesysteemgedrag en onafhankelijkheid van de gebeurtenissen ALARM, MOB, BEDIEN en TECH kan de kans op niet sluiten beter als volgt berekend worden:

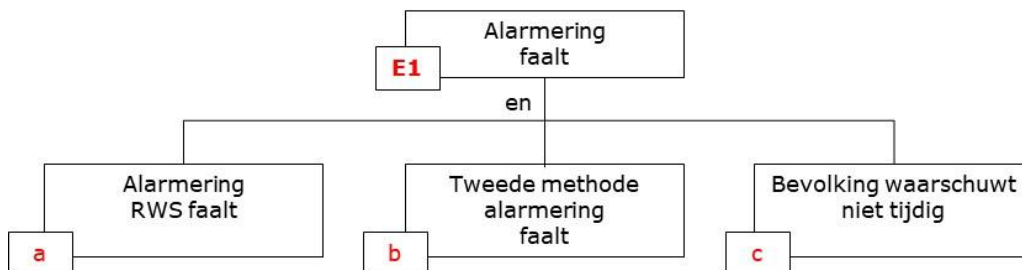
$$P_{ns} = 1 - \{(1 - 10^{-ALARM}) \cdot (1 - 10^{-MOB}) \cdot (1 - 10^{-BEDIEN}) \cdot (1 - 10^{-TECH})\}$$

Bij kleine faalkansen is dit bij benadering gelijk aan de som van de faalkansen van de vier deelsporen.

## 2.2 Basis foutenboom Alarmering

De alarmering is de eerste fase in de totale sluitingsoperatie. De in deze methode aangehouden scheidslijn tussen Alarmering en Mobilisatie is de volgende: Alarmering eindigt en Mobilisatie begint op het moment dat één of meerdere leden van het calamiteitenteam op de hoogte zijn gebracht van het alarmeringscriterium, bijvoorbeeld een gemeten waarschuwingspeil of verwacht debiet. Met calamiteitenteam wordt hier bedoeld het team dat besluit tot sluiting en de daarvoor benodigde acties inzet.

In Figuur 2 is de tak 'Hoogwateralarmeringssysteem faalt' uit Figuur 1 nader uitgewerkt (vanaf hier kortweg Alarmering genoemd). Op basis van deze foutenboom is de scoretabel volgens Tabel 2 in hoofdstuk 3 opgesteld. De rode letters verwijzen naar de vragen in de scoretabel in hoofdstuk 3.



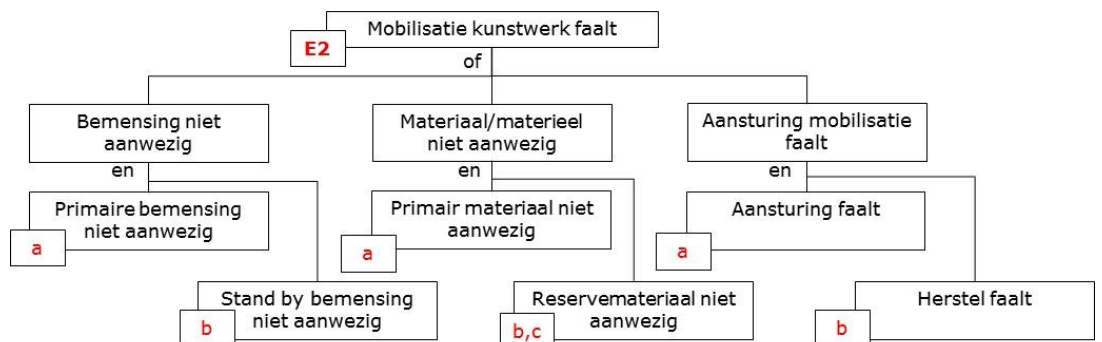
Figuur 2 Uitwerking aspect 'Alarmering faalt'

*Wijzigingen foutenboom Alarmering ten opzichte van Leidraad Kunstwerken 2003*  
De hoogwateralarmering voor de wateren waaraan primaire keringen grenzen wordt tegenwoordig door Rijkswaterstaat verzorgd. De foutenboom is feitelijk ongewijzigd ten opzichte van de foutenboom uit de Leidraad Kunstwerken 2003, met dien verstande dat het primaire systeem bestaat uit de alarmering door Rijkswaterstaat. Dit is dan ook zo in de foutenboom opgenomen. De uitsplitsing per systeem in 'techniek faalt' en 'menselijke fout' uit de Leidraad Kunstwerken 2003 is niet meer opgenomen, omdat hier in de vragen ook geen onderscheid meer in wordt gemaakt.

### 2.3 Basis foutenboom Mobilisatie

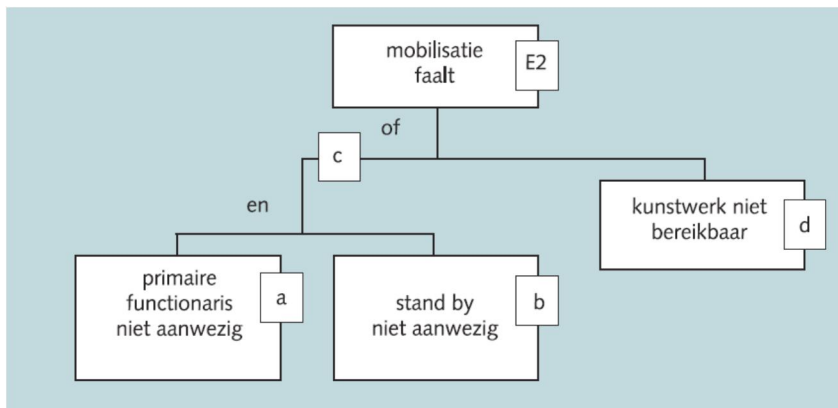
De mobilisatie betreft de fase waarin personeel inclusief eventueel benodigd materiaal en materieel naar het kunstwerk gaat. De mobilisatiefase start op het moment dat het calamiteitenteam is gealarmeerd en eindigt wanneer al het benodigde materiaal, materieel en menskracht aanwezig is ter plaatse van de bedienlocatie. Mobilisatie faalt als menskracht, materiaal of materieel niet tijdig aanwezig is bij het kunstwerk.

In Figuur 3 is de tak 'Mobilisatie faalt' uit Figuur 1 nader uitgewerkt. Op basis van deze foutenboom is de scoretabel volgens Tabel 5 in hoofdstuk 3 opgesteld. De rode letters a, b en c verwijzen naar de vragen in de scoretabel in hoofdstuk 3.



Figuur 3 Uitwerking aspect 'Mobilisatie faalt'

*Wijzigingen foutenboom Mobilisatie ten opzichte van Leidraad Kunstwerken 2003*  
De standaard foutenboom is uitgebreid ten opzichte van de Leidraad Kunstwerken 2003, waarin alleen de bemensing (middels de primaire functionaris en diens stand by) en de bereikbaarheid van het kunstwerk waren opgenomen (zie Figuur 4).



Figuur 4 Foutenboom voor falen mobilisatie (figuur B3.10 uit Leidraad Kunstwerken 2003)

Naast de mobilisatie van menskracht is het met name bij coupures<sup>2</sup> ook vaak nodig om materiaal (schotbalken en staanders) en soms ook materieel (bijvoorbeeld hijskraan) te mobiliseren. Dit is toegevoegd aan de foutenboom. Daarnaast kan de coördinatie van de mobilisatieprocedure falen (met name als ingeval van hoogwater een groot aantal kunstwerken gesloten moet worden), waardoor menskracht, materiaal en materieel niet ter plaatse geraken en de sluiting daardoor uiteindelijk ook kan mislukken. Dit is eveneens toegevoegd aan de foutenboom<sup>3</sup>.

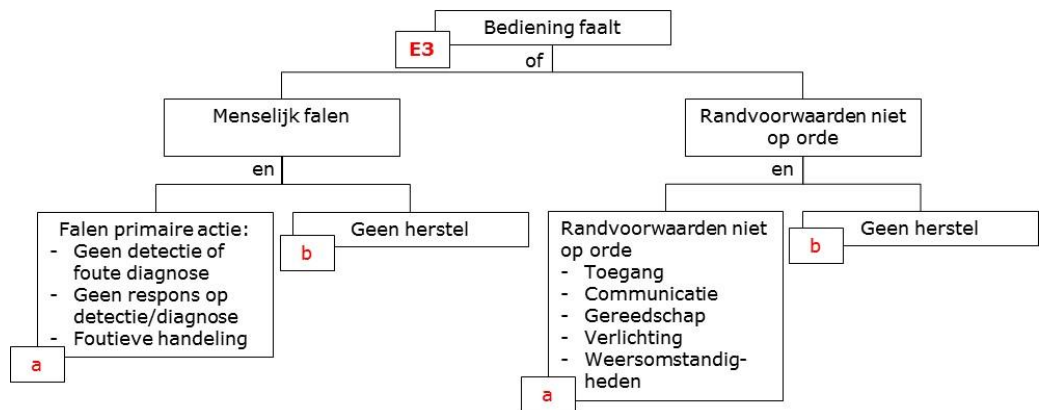
De bereikbaarheid van het kunstwerk is slechts één van de redenen waarom de mobilisatie van menskracht, materiaal en materieel kan falen. Daarnaast hoeft de kans op niet-bereikbaarheid van het kunstwerk niet dezelfde te zijn voor de mobilisatie van menskracht, materiaal en materieel; de mobilisatie van menskracht is doorgaans eenvoudiger dan de mobilisatie van materiaal en materieel. Vandaar dat ervoor gekozen is het aspect bereikbaarheid onder de afzonderlijke takken van Figuur 3 uit te werken en niet separaat op te nemen.

## 2.4 Basis foutenboom Bediening

Nadat bedienend personeel en eventueel benodigd materiaal en materieel zijn gemobiliseerd wordt de sluiting in gang gezet. Falen van de bediening kan optreden door een menselijke fout (foutieve, te late of geen handeling), doordat randvoorwaarden zoals toegang, verlichting of gereedschap dat benodigd is voor de plaatsing niet op orde zijn of doordat de weersomstandigheden te slecht zijn. In Figuur 5 is de tak 'Bedieningsfout' uit Figuur 1 nader uitgewerkt. Op basis van deze foutenboom is de scoretabel volgens Tabel 6 in hoofdstuk 3 opgesteld. De rode letters verwijzen naar de vragen in de scoretabel in hoofdstuk 3.

<sup>2</sup> Dit kan ook bij andere kunstwerken spelen, bijvoorbeeld een schotbalkkering als tweede kering bij een (keer)sluis

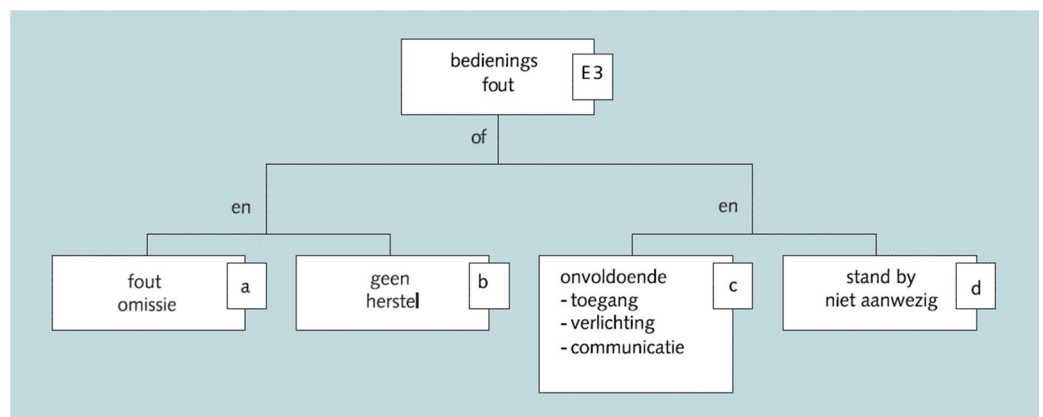
<sup>3</sup> Dit is een gemeenschappelijke oorzaak (common cause) die leidt tot falen van de aanvoer van menskracht, materiaal en/of materieel en is daarom een niveau omhoog gehaald en als aparte tak in de foutenboom opgenomen



Figuur 5 Uitwerking aspect 'Bedieningsfout'

*Wijzigingen foutenboom Bediening ten opzichte van Leidraad Kunstwerken 2003*

De standaard foutenboom volgt in hoofdlijn de foutenboom uit de Leidraad Kunstwerken 2003. Hierin zijn het maken van een fout in de bediening (inclusief herstel) en randvoorwaarden benodigd voor sluiten van het kunstwerk opgenomen (zie onderstaande figuur). De tak 'stand by niet aanwezig' lijkt niet helemaal logisch op deze plaats in de foutenboom (logischer zou zijn als hier zou staan 'herstel faalt').

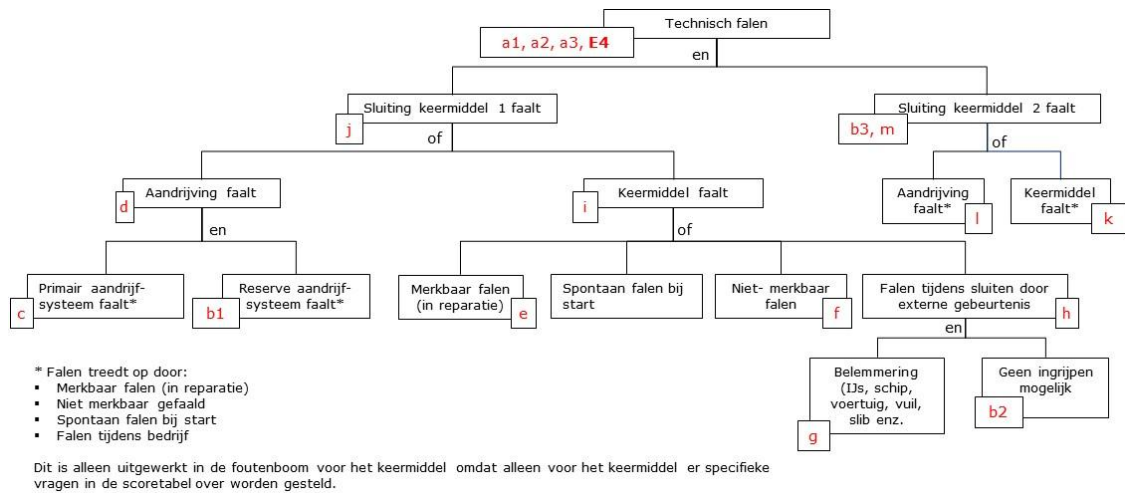


Figuur 6 Foutenboom voor bedieningsfout (figuur B3.11 uit Leidraad Kunstwerken 2003)

Met name voor kunstwerken waar hijsmiddelen benodigd zijn voor de plaatsing van de keermiddelen zijn de weersomstandigheden (met name windkracht) van belang. Dit toegevoegd aan de foutenboom. Ook benodigde gereedschappen worden nu expliciet benoemd.

**2.5 Basis foutenboom Technisch falen**

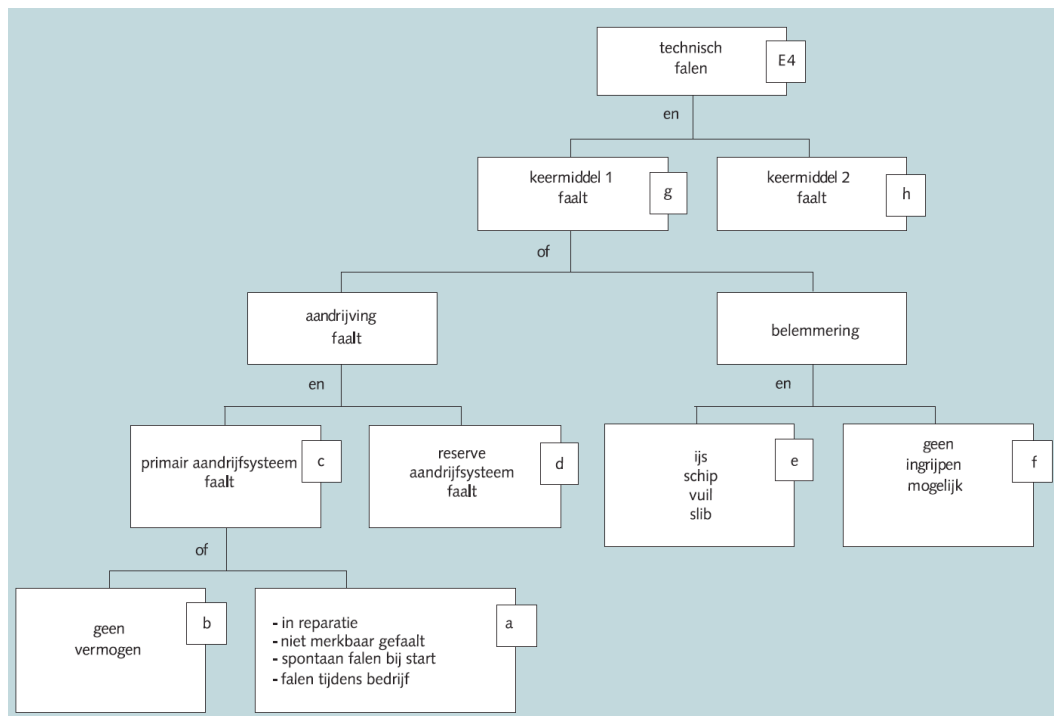
Nadat de sluiting in gang is gezet kan de sluiting van het keermiddel nog falen doordat het keermiddel zelf faalt (bijvoorbeeld door een belemmering) of de aandrijving ervan. In Figuur 7 is de tak 'Technisch falen afsluitmiddel' uit Figuur 1 nader uitgewerkt. Op basis van deze foutenboom is de scoretabel volgens Tabel 9 in hoofdstuk 3 opgesteld. De rode letters verwijzen naar de vragen in de scoretabel in hoofdstuk 3.



Figuur 7 Uitwerking aspect 'Technisch falen afsluitmiddel'

*Wijzigingen foutenboom Technisch falen ten opzichte van Leidraad Kunstwerken 2003*

De standaard foutenboom volgt in hoofdlijn de foutenboom uit de Leidraad Kunstwerken 2003. Het falen van de aandrijving en het keermiddel zelf is nader uitgewerkt, zie voor definities [Ref. 9]. Hierbij kan sprake zijn van de vier faaloorzaken zoals ook al opgenomen in de Leidraad Kunstwerken 2003, namelijk merkbaar falen, niet-merkbaar falen, spontaan falen bij start en falen tijdens bedrijf. In de foutenboom uit de Leidraad Kunstwerken 2003 zijn diverse faaloorzaken expliciet benoemd als het gaat om falen van het keermiddel door een belemmering. Dit is feitelijk een vorm van falen tijdens bedrijf als gevolg van een externe gebeurtenis en is daarom ook als zodanig opgenomen in de foutenboom.



Figuur 8 Foutenboom voor technisch falen (figuur B3.12 uit Leidraad Kunstwerken 2003)



Aanvaring en aanrijding zijn vormen van (meestal) merkbaar of (soms) niet-merkbaar falen (bijvoorbeeld aanrijden sponning coupure vlak voor plaatsing).



### 3 Scoretabellen bij aanvang van deze studie

#### 3.1 Algemeen

In het kader van het WBI zijn de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 geactualiseerd (zie [Ref. 1]). In [Ref. 1] is tevens vastgelegd wat de reden en aard van de wijziging ten opzichte van scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 is. De scoretabellen uit het WBI ([Ref. 1]) zijn bij aanvang van dit project nog enigszins aangepast en vormen de start van de analyse. Dit hoofdstuk geeft de scoretabellen die het vertrekpunt vormen voor deze studie. De verschillen met de scoretabellen in [Ref. 1] worden kort gedeut.

#### 3.2 Scoretabel Alarmering

##### 3.2.1 Concept-scoretabel WBI

In [Ref. 1] is de volgende scoretabel opgenomen voor Alarmering:

Vraag		Antwoord	Score
a	Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	ja	4
		nee	0
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	ja	3
		nee	0
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering	a+b	max 7

Tabel 2 Scoretabel Alarmering WBI

##### 3.2.2

##### *Aanpassingen concept-scoretabel Alarmering WBI als vertrekpunt voor deze studie*

Analoog aan de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003 is de vraag of de bevolking kan waarschuwen toegevoegd aan de scoretabel voor Alarmering. Hieraan is de score 1 toegekend. De maximale score voor een tweede methode voor hoogwateralarmering is aangepast van 3 naar 2. De maximale totale score voor Alarmering blijft 7.

Vraag		Antwoord	Score
a	Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	ja	4
		nee	0
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	ja	2
		nee	0
c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	ja	1
		nee	0
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering	a+b+c	max 7

Tabel 3 Aangepaste scoretabel Alarmering welke in deze studie is gehanteerd

### 3.3 Scoretabel Mobilisatie

#### 3.3.1 Concept scoretabel WBI

In [Ref. 1] is de volgende scoretabel opgenomen voor Mobilisatie:

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?	ja	
		nee	
a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	ja	
		nee	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	ja	
		nee	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	4
		nee	0
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt	ja	1
		nee	0
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie	a4+b	max 5

Tabel 4 Scoretabel Mobilisatie WBI

#### 3.3.2

*Aanpassingen concept-scoretabel Mobilisatie WBI als vertrekpunt voor deze studie*

Uit eerdere analyses is bekend dat bij coupures sprake is van een extra risico voor falen van de mobilisatie als al het materiaal op één en dezelfde locatie ligt opgeslagen, omdat het dan door één gebeurtenis (brand, diefstal) verloren kan gaan. Daarom is hierover een vraag toegevoegd aan de scoretabel voor Mobilisatie.

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?	ja	
		nee	
a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	ja	
		nee	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	ja	
		nee	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	4
		nee	0
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt	ja	1
		nee	0
c	Indien coupure zonder permanent keermiddel: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?	ja	-1
		nee/nvt	0
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie	a4+b+c	max 5

Tabel 5 Aangepaste scoretabel Mobilisatie welke in deze studie is gehanteerd

### 3.4 Scoretabel Bediening

#### 3.4.1 Concept-scoretabellen WBI

In [Ref. 1] is de volgende scoretabel opgenomen voor Bediening:

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	ja	
a2	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	ja	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	ja	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	4
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt	ja	1
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	5

Tabel 6 Scoretabel Bediening WBI

#### 3.4.2

#### *Aanpassingen concept-scoretabellen WBI als vertrekpunt voor deze studie*

De scoretabel voor Bediening is nagenoeg ongewijzigd overgenomen als vertrekpunt voor deze studie. De enige wijziging betreft de scores die zijn toegekend aan de vragen. Uit een analyse met behulp van het Opschepmodel is gebleken dat een verdeling 3-2 meer recht doet aan de werkelijkheid dan een score 4-1 zoals in [Ref. 1] is opgenomen. In bijlage B is deze analyse opgenomen.

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	ja nee	
a2	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	ja nee	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	ja nee	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja nee	3 0
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt	ja nee	2 0
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	max 5

Tabel 7 Aangepaste scoretabel Bediening welke in deze studie is gehanteerd

### 3.5 Scoretabel Technisch falen

#### 3.5.1 Concept-scoretabel WBI

In [Ref. 1] is de volgende scoretabel opgenomen voor Technisch falen:

Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score
A	a	is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja 0,25
		nee 0	
A	b	wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	ja 0,75
		nee 0	
A	c	worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zondig aan het sluitmiddel zelf?	ja 0,25
		nee 0	
1	d	is het keermiddel en de sponningen zichtbaar en bereikbaar?	ja 0,5
		nee 0	
1	e	is er aanrijdings- of aanvaringsrisico van betekenis?	ja 0
		nee 0,5	
1	f	is het afsluitmiddel handbediend?	ja 0,5
		nee 0	
2	g	is er een tweede aandrijfsysteem?	ja 0,5
		nee 0	
2	h	zijn er meer dan normale belemmeringen te verwachten?	ja 0
		nee 0,25	
2	i	is ingrijpen mogelijk bij fysieke belemmering	ja 0,25
		nee 0	
3	j	is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	ja 0,25
		nee 0	
3	k	is er aanrijdings- of aanvaringsrisico van betekenis bij dit tweede keermiddel (indien van toepassing, anders 0)?	ja/nvt 0
		nee 0,25	
3	l	is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja 0,25
		nee/nvt 0	
A	m	is het keermiddel na plaatsing geborgd? (betreft alleen demontabele keringen)	ja/nvt 0,25
		Kunstwerk niet sluiten door technisch falen	nee 0
			som(a:m)

Tabel 8 Scoretabel Technisch falen WBI

#### 3.5.2 Aanpassingen concept-scoretabel WBI als vertrekpunt voor deze studie

De scoretabel voor het aspect Technisch falen is op diverse punten gewijzigd naar aanleiding van de wijzigingen die in de standaard foutenbomen zijn doorgevoerd en de eerste resultaten van de onderbouwende cases. Deze wijzigingen zijn in rood aangegeven in onderstaande scoretabel, welke als vertrekpunt is genomen voor deze studie.

Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	
A	a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja nee	0,5 0
A	a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	ja nee	1,5 0
A	a3	Worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf?	ja nee	0,5 0
Aandrijving	c	Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja nee	0,5 0
Aandrijving	b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	ja nee	1 0
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	min 0 max 1,5
Keermiddel	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja nee	1 1,5
Keermiddel	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja nee	1,25 1,5
Keermiddel	g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?	ja nee	0,5 1
Keermiddel	b2	Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	ja/nvt nee	0,5 0
Keermiddel	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2	max 1,5
Keermiddel	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	min 0,5 max 1,5
Sluiting eerste	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	Min(d,i)	min 0 max 1,5
2de keermiddel	b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	ja nee	0,75 0
Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	ja/nvt nee	0 0,25
Aandrijving	l	Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja nee/nvt	0,25 0
Sluiting tweede keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k, b3+l)	min 0 max 1
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3 +j+m	max 5

Tabel 9 Aangepaste scoretabel Technisch falen welke in deze studie is gehanteerd

*Toelichting op de wijzigingen*

De volgende wijzigingen zijn doorgevoerd:

- De scores in de scoretabellen in [Ref. 1] werden recht toe recht aan bij elkaar opgeteld. Dat komt overeen met een foutenboom bestaande uit EN-poorten, waarbij de betrouwbaarheid telkens wat wordt vergroot naarmate er een tak bijkomt. In de standaard foutenboom is echter sprake van meerdere OF-poorten. Op meerdere plaatsen (zie vragen i, j en m in Tabel 9) zijn tussenscores ingevoegd waar de minimale score de tussenscore bepaald om ter plaatse van OF-poorten in de foutenboom de score te bepalen.
- Op hoofdlijnen is de foutenboom als volgt opgezet: de vragen a1 tot en met a3 geven een 'basisbetrouwbaarheid' van E-2,5, wanneer wordt voldaan aan de eisen gesteld aan het hoogwaterdraaiboek [Ref. 4]. Als de zaken omtrent aandrijving en keermiddel optimaal zijn geregeld wordt hier een score van E-1,5 aan toegevoegd. Middels back-up voorzieningen (tweede aandrijfsysteem,

tweede keermiddel, zie vragen b1 en b3) kan nog een orde (E-1) worden gewonnen.

- De volgorde van de vragen is veranderd, waarbij duidelijker is aangegeven op welk onderdeel uit de foutenboom de vraag betrekking heeft. Ook de vraagnummering is veranderd, waarbij vragen a1-a3 betrekking hebben op proces, vragen b1-b3 op mogelijkheden tot herstel en de overige vragen op de technische betrouwbaarheid van onderdelen.
- De scores die samenhangen met de vragen a1, a2 en a3 (was a, b en c in Tabel 8) aangaande het onderhoudsplan, de jaarlijkse oefening en de terugkoppeling hiervan in de diverse plannen zijn verhoogd. Dit is gedaan vanuit de gedachte dat deze zaken een hele goede basis vormen om de betrouwbaarheid van de sluiting te verbeteren. Indien onderdelen of componenten weinig betrouwbaar zijn dan komt dit vanuit de oefeningen wel naar voren en worden deze middels de plan-do-check-act cyclus verbeterd. Indien deze vragen dus positief beantwoord worden dan kan het niet zo zijn dat de sluiting evident onbetrouwbaar is. Met andere woorden: evident onbetrouwbare kunstwerken vallen middels de jaarlijkse oefening vanzelf door de mand.
- De score voor het tweede aandrijfsysteem is verhoogd van 0,5 naar 1.
- De vragen e en f (was e en d in Tabel 8) zijn wat breder geformuleerd in termen van merkbaar en niet-merkbaar falen<sup>4</sup>.
- Vraag k is eveneens breder geformuleerd om ook andere faaloorzaken dan aanvaring/aanrijding van het tweede keermiddel te onderkennen
- Vraag m uit Tabel 8 is geschrapt omdat dit gaat om falen van de gesloten kering. Dit staat los van de betrouwbaarheid van de sluiting van het keermiddel, deze sluiting is dan immers al geslaagd. Middels de eisen die worden gesteld aan het hoogwaterdraaiboek [Ref. 4]. is dit risico al onderkend en ondervangen.

---

<sup>4</sup> Voorbeelden van merkbaar falen zijn:

- Aanvaring of aanrijding van zichtbare keermiddelen wat vanuit de dagelijkse functie direct wordt opgemerkt of zo in het oog springt dat vast personeel of gebruikers er melding van maakt.
- Dusdanige zichtbare degeneratie, zoals doorgaande houtrot van houtenpuntdeuren.
- Schotbalken die tijdens transport of opslag beschadigd zijn geraakt

Voorbeelden van niet-merkbaar falen zijn:

- Vallende of krabbende ankers op de drempelconstructie in het geval van een roldeur, waarbij er sprake is (zeer) veel scheepspassages vanuit regulier gebruik. Deze situatie zal in het geval van andere typen keermiddelen niet leiden tot dusdanig falen dat een hoogwatersluiting niet lukt.
- Diefstal of vandalisme in het geval van niet frequent sluitende objecten
- Niet-zichtbare aantasting door biologische of andere oorzaak



## 4 Vergelijking faalkansen geavanceerde analyses met faalkansen scoretabellen

### 4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de berekende faalkansen uit de uitgevoerde analyses geconfronteerd met de berekende faalkansen met behulp van de scoretabellen. In paragraaf 4.2 wordt een overzicht gegeven van de beschouwde kunstwerken met hun belangrijkste kenmerken. Vervolgens wordt in paragraaf 4.3 per kunstwerk en per beoordelingsaspect de score uit de scoretabellen zoals opgenomen in het vorige hoofdstuk vergeleken met de score uit de uitgevoerde analyses. In paragraaf 4.4 wordt op basis van deze vergelijking vervolgens beschouwd welke aanpassingen in de kwantificering gewenst zijn.

### 4.2 Overzicht beschouwde kunstwerken

In Tabel 10 is een overzicht opgenomen van de kunstwerken die zijn beschouwd. Het betreft drie keersluizen en twee coupures in vier verschillende belastingsystemen.

Kunstwerknaam	Korte omschrijving	Nadere analyse opgenomen in:
Keersluis Schoonhoven	Keersluis bestaande uit 2 stel puntdeuren en schotbalkkering in benedenrivierengebied	bijlage A
Meppelerdiepsluis	Keer-/schutsluis bestaande uit 2 roldeuren in IJssel-Vechtdelta. Dubbel kerend in een range van (lagere) waterstanden en enkel kerend vanaf een bepaalde hoogwaterstand	[Ref. 5]
Keersluis Limmel	Keersluis bestaande uit enkele hefdeur in bovenrivierengebied	[Ref. 5]
Coupure Berkelkade Zutphen	Coupure te sluiten met (vier) stijlen en in te hijsen schotten, noodkering mogelijk, bovenrivierengebied	[Ref. 6]
Coupure Den Oever	Coupure te sluiten met enkele roldeur, geen noodkering, kust	[Ref. 7]

Tabel 10 Overzicht kunstwerken die geanalyseerd zijn ter onderbouwing kwantificering scoretabellen

Bovenstaande kunstwerken betreffen allemaal kunstwerken van het type C, te sluiten bij naderend hoogwater. Getracht is een set kunstwerken te selecteren die qua type keermiddel en sluitfrequentie representatief is voor het merendeel van dit type waterkerende kunstwerken in Nederland.

De aard van de uitgevoerde analyse verschilt per kunstwerk. Keersluis Schoonhoven betreft een update van een van de cases die ten grondslag heeft gelegen aan de scoretabellen uit de Leidraad Kunstwerken 2003. Voor de keersluis Limmel en de Meppelerdiepsluis zijn geavanceerde RAMS-analyses beschouwd die bij het ontwerp van deze recent aangelegde kunstwerken zijn opgesteld. Voor de coupures Berkelkade Zutphen en Den Oever is specifiek voor deze kalibratie een

faalkansanalyse uitgevoerd. Hierbij is gebruik gemaakt van de beschikbare data uit het project VNK2.

#### 4.3 Vergelijking resultaten scoretabellen met geavanceerde analyses

In Tabel 11 is per kunstwerk en per beoordelingsaspect de faalkans zoals deze is bepaald met de scoretabellen uit het vorige hoofdstuk vergeleken met de berekende faalkans uit de uitgevoerde nadere analyses.

Kunstwerk	Faalkans Alarmering	Faalkans Mobilisatie	Faalkans Bediening	Faalkans Technisch falen	Totaal
<b>Keersluis Schoonhoven</b> Analyse Scoretabel <i>Verhoudingsgetal</i>	5,0E-9 1,0E-7 0,05	1,0E-5 1,0E-5 1,0	2,0E-8 1,0E-5 0,002	4,0E-6 1,0E-4 0,04	1,4E-5 1,2E-4 0,12
<b>Meppelerdiepsluis Enkel kerend</b> Analyse Scoretabel <i>Verhoudingsgetal</i>	3,3E-4 1,0E-4 3,3	1,0E-18 1,0E-5 1,0E-13	6,0E-7 1,0E-5 0,06	4,8E-4 3,2E-4 1,5	8,1E-4 4,4E-4 1,8
<b>Meppelerdiepsluis Dubbel kerend</b> Analyse Scoretabel <i>Verhoudingsgetal</i>	3,3E-4 1,0E-4 3,3	1,0E-18 1,0E-5 1,0E-13	6,0E-7 1,0E-5 0,06	3,0E-7 5,6E-5 0,005	3,3E-4 1,8E-4 1,8
<b>Keersluis Limmel</b> Analyse Scoretabel <i>Verhoudingsgetal</i>	niet bepaald niet bepaald -	niet bepaald niet bepaald -	niet bepaald niet bepaald -	$4,0 \cdot 10^{-5}$ $3,2 \cdot 10^{-4}$ 0,125	- - -
<b>Coupure Berkelkade Zutphen</b> Analyse Scoretabel <i>Verhoudingsgetal</i>	1,1E-13 1,0E-7 0,000001	8,2E-6 1,0E-5 0,82	8,9E-6 1,0E-5 0,89	1,0E-6 1,8E-5 0,06	1,8E-5 3,8E-5 0,47
<b>Coupure Den Oever – alleen puntdeuren</b> Analyse Scoretabel <i>Verhoudingsgetal</i>	3,6E-9 1,0E-7 0,04	1,5E-6 1,0E-4 0,015	4,1E-6 1,0E-3 0,004	1,4E-6 1,0E-4 0,014	7,0E-6 1,2E-3 0,006
<b>Coupure Den Oever – alleen schotbalkkering</b> Analyse Scoretabel <i>Verhoudingsgetal</i>	3,6E-9 1,0E-7 0,04	8,0E-5 1,0E-3 0,08	4,0E-4 1,0E-3 0,4	3,1E-3 3,2E-3 0,97	3,6E-3 5,2E-3 0,69

Kunstwerk	Faalkans Alarmering	Faalkans Mobilisatie	Faalkans Bediening	Faalkans Technisch falen	Totaal
<b>Coupure Den Oever – puntdeuren + schotbalkkering</b>					
Analyse	3,6E-9	niet bepaald	<2,0E-8	4,0E-7	1,6E-6
Scoretabel	1,0E-7	1,0E-4	1,0E-3	1,8E-5	1,1E-3
<i>Verhoudingsgetal</i>	<i>0,04</i>	-	<i>&lt;0,00002</i>	<i>0,02</i>	<i>0,001</i>

Tabel 11 Vergelijking resultaten scoretabellen en analyses<sup>5</sup>

Uit Tabel 11 is op te maken dat over het algemeen de faalkansen zoals deze zijn bepaald met de scoretabellen conservatiever dan de berekende faalkansen uit de uitgevoerde nadere analyses (verhoudingsgetal tussen het resultaat van de analyse en de scoretabellen <1). Dat is ook wenselijk; op deze wijze kunnen de scoretabellen als eerste conservatieve benadering gebruikt worden en is aanscherping mogelijk in een nadere analyse.

In Tabel 11 zijn de volgende uitzonderingen zichtbaar waarbij de faalkansen zoals deze zijn bepaald met de scoretabellen niet conservatiever zijn dan de berekende faalkansen uit de uitgevoerde nadere analyses (verhoudingsgetal >1):

- Meppelerdiepsluis – Alarmering
- Meppelerdiepsluis (alleen situatie enkel kerend) – Technisch falen

Onderstaand wordt voor deze twee uitzonderingen nader op de berekende resultaten ingegaan.

#### *Meppelerdiepsluis – Alarmering*

De faalkans zoals bepaald in de nadere analyse is grofweg een factor 3 ongunstiger dan de faalkans die volgt uit de berekening middels de scoretabel. Dit verschil in faalkans heeft als voornaamste oorzaak dat in de geavanceerde analyse slechts één meetpunt, namelijk Zwartsluis buiten, is meegenomen in de faalkansberekening. In werkelijkheid zijn meerdere meetpunten beschikbaar en is er dus redundantie in geval van falen van meetpunt Zwartsluis. De geavanceerde analyse is op dit punt dus conservatief, wat in het licht van het aantonen van een minimale faalkans ook een logische aanpak is. Met het meenemen van een extra meetpunt in de nadere analyse wordt de faalkans ruimschoots kleiner dan de faalkans die volgt uit de scoretabellen. Aanpassing van de scoretabellen is dan ook niet noodzakelijk.

#### *Meppelerdiepsluis (alleen situatie enkelkerend) – Technisch falen*

In de situatie dat de Meppelerdiepsluis enkelkerend is (waterstanden hoger dan 1,30 m+NAP) is de faalkans zoals berekend met de geavanceerde analyse iets groter dan de faalkans die volgt uit de scoretabellen (verhoudingsgetal 1,5). Hiermee liggen beide scores reeds nagenoeg in lijn met elkaar. In de geavanceerde analyse is een herstelmogelijkheid niet meegenomen (wat bij het aantonen van een minimale faalkans ook niet noodzakelijk is). Als dit wel wordt gedaan dan reduceert de faalkans met een factor die groter is dan 1,5. Het is daarom niet noodzakelijk de scoretabellen hierop aan te passen.

<sup>5</sup> Faalkansen kleiner dan  $10^{-8}$  a  $10^{-9}$  hebben weinig realiteitswaarde en moeten worden beschouwd als verwaarloosbare bijdragen aan de totale faalkans

#### 4.4 Conclusies uit de vergelijking

Uit de uitgewerkte cases worden de volgende conclusies getrokken:

Voor het beoordelingsaspect Alarmering is de faalkans zoals berekend met de scoretabellen meestal ruimschoots (factor 20 of meer) groter dan volgt uit de nadere analyses. Met name de herstelmogelijkheden binnen de eigen organisatie als de primaire alarmering door Rijkswaterstaat faalt bepalen dit verschil: hoe meer alternatieven, hoe kleiner de berekende faalkans uit de nadere analyse en hoe groter het verschil met de scoretabellen.

De faalkans van Mobilisatie draagt in de meeste cases het meeste bij aan de berekende faalkans. Voor Mobilisatie liggen de faalkansen zoals berekend met de scoretabellen het dichtst bij de berekende faalkansen uit de nadere analyses.

Ook de faalkans van Bediening draagt in de meeste cases enigszins bij aan de berekende faalkans. Alleen voor de coupure Berkelkade (die geheel handmatig wordt opgebouwd) en coupure Den Oever-puntdeuren draagt de faalkans voor Bediening significant bij. Voor de overige cases, waar sprake is van de sluiting van twee of meer onafhankelijke keermiddelen, is de faalkansbijdrage van Bediening (zeer) beperkt.

Wel valt op dat bij coupure Den Oever de faalkansen zoals berekend met de scoretabellen voor Mobilisatie en Bediening twee ordes of meer conservatiever zijn dan de faalkansen die volgen uit de nadere analyse. Dit komt mede doordat in de scoretabellen geen kans op herstel wordt meegenomen omdat de coupure aan de kust ligt, terwijl uit de geavanceerde foutenbomen blijkt dat op diverse plaatsen wel een kans op herstel kan worden meegenomen. De scoretabellen zijn hiermee op dit punt te conservatief. Daarom worden de scoretabellen voor Mobilisatie en Bediening op dit punt aangepast. De passage *'NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt'* wordt vervangen door *'NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is.'* In de toelichting op de vraag wordt opgenomen dat met het beantwoorden van de vraag rekening moet worden gehouden met het feit dat bij een kunstwerk gelegen aan de kust of in het merengebied rekening moet worden gehouden met een relatief korte beschikbare tijd voor het treffen van herstelmaatregelen. Vandaar de toevoeging dat een permanent keermiddel aanwezig moet zijn.

Voor Technisch falen geldt: waar sprake is van de sluiting van twee of meer onafhankelijke keermiddelen, is de faalkansbijdrage van Technisch falen verwaarloosbaar klein. Alleen bij kunstwerken met één keermiddel (keersluis Limmel, Meppelerdiepsluis situatie enkelkerend, coupure Den Oever-schotbalkkering) is Technisch falen relevant voor de berekende faalkans. In dat geval komen de faalkansen zoals berekend met de scoretabellen in de buurt van de berekende faalkansen uit de nadere analyse. Zodra sprake is van twee of meer onafhankelijke keermiddelen dan zijn de scoretabellen veel conservatiever dan de nadere analyses. Dit komt door de modelering van falen van het tweede keermiddel in de scoretabellen. Hierin wordt het tweede keermiddel als back-up gezien en niet gelijkwaardig aan het eerste keermiddel. Uit de cases blijkt dat dit een conservatieve benadering is.

In alle cases is de totale faalkans zoals berekend met de scoretabellen groter dan de faalkans die volgt uit de geavanceerde analyses<sup>6</sup>. De totale faalkans wordt in de meeste cases bepaald door de aspecten Mobilisatie en (in iets mindere mate) Bediening en Technisch falen (bij enkel keermiddel). Alarmering en Technisch falen (bij dubbel keermiddel) dragen in de meeste cases niet of nauwelijks bij aan de totale faalkans.

Tot slot wordt opgemerkt dat:

- de vergelijking op een beperkt aantal objecten is uitgevoerd. Hierdoor is de statistische onderbouwing beperkt. De aanpak is vergelijkbaar met de aanpak die heeft geleid tot de scoretabellen in de Leidraad Kunstwerken 2003. Uitbreiding van het aantal cases kan zorgen voor een meer solide onderbouwing van de gehanteerde methodiek.
- de cases Meppelerdiepsluis en Limmel zijn op de beschikbare analyses en gegevens gebaseerd. Deze komen niet altijd overeen met de daadwerkelijke 'as-built' situatie. Ook de "vertaling" van de risicoanalyses naar standaardfoutenbomen voor de scoretabellen was niet altijd even evident. Voor meer achtergrondinformatie wordt verwezen naar [Ref. 5].
- de coupures Berkelkade en Den Oever inmiddels zijn komen te vervallen (Berkelkade) dan wel ingrijpend zijn aangepast (Den Oever). Ook voor deze kunstwerken komt de geanalyseerde situatie niet meer overeen met de werkelijkheid. Aan de relevantie van de cases doet dit echter niets af.

---

<sup>6</sup> Voor case Meppelerdiepsluis geldt dit als de geavanceerde analyse op onderdelen wordt aangescherpt zoals in paragraaf 4.3 is aangegeven



## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Uit de uitgewerkte cases volgt dat de scoretabellen conservatief zijn ten opzichte van de nadere analyses. Dit geldt zowel voor de totale faalkans van niet sluiten als voor de onderliggende beoordelingsaspecten. Dat is ook wenselijk; op deze wijze kunnen de scoretabellen als eerste benadering gebruikt worden en is aanscherping mogelijk in een nadere analyse.

Alleen voor kunstwerken in het kust- en merengebied zijn de faalkansen zoals berekend met de scoretabellen voor Mobilisatie en Bediening bovenmatig conservatief. Dit komt mede doordat in de scoretabellen geen kans op herstel wordt meegenomen. Daarom worden de scoretabellen voor Mobilisatie en Bediening op dit punt aangepast. De passage *'NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt'* wordt vervangen door *'NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is.'* In de toelichting op de vraag wordt opgenomen dat bij het beantwoorden van de vraag rekening moet worden gehouden met het feit dat bij een kunstwerk gelegen aan de kust of in het merengebied een relatief korte tijd beschikbaar is voor het treffen van herstelmaatregelen.

De definitieve scoretabellen zijn opgenomen in paragraaf 5.3.

### 5.2 Aanbevelingen

In deze studie zijn drie keersluizen en twee coupures in vier verschillende belastingssystemen gebruikt als basis voor de aangepaste scoretabellen. Aanbevolen wordt een nadere analyse van een uitwateringsduiker waarvan de keermiddelen op nadering van hoogwater gesloten moeten worden toe te voegen aan de cases. Op deze wijze is van belangrijkste typen kunstwerk als het gaat om niet sluiten tenminste één case uitgewerkt<sup>7</sup>.

Overwogen kan worden de scoretabellen te differentiëren naar type kunstwerk. Op deze manier kan meer maatwerk in de scoretabellen worden betracht. Dit vergt echter wel dat per type kunstwerk meerdere cases worden uitgewerkt / geanalyseerd. Hiervoor kan de werkwijze worden gevolgd die in dit project is gehanteerd.

### 5.3 Definitieve scoretabellen

In deze paragraaf zijn de definitieve scoretabellen opgenomen. Deze zijn tevens opgenomen in de Werkwijze ([Ref. 9]).

---

<sup>7</sup> Gemalen zijn voor niet sluiten doorgaans minder relevant omdat hiervan in principe altijd tenminste 1 keermiddel gesloten is. Voor schutsluizen geldt dit ook maar kan het zo zijn dat de beide sets deuren nodig zijn of dat aparte stormdeuren geplaatst moeten worden in geval van hoogwater. Deze situatie lijkt echter zeer veel op de sluiting van een keersluis en is middels de gebruikte cases afdoende ondervangen.

Vraag		Antwoord	Score
a	Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	ja	4
		nee	0
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	ja	2
		nee	0
c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	ja	1
		nee	0
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering	a+b+c	max 7

Tabel 12 Definitieve scoretabel Alarmering

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?	ja	
		nee	
a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	ja	
		nee	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	ja	
		nee	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	4
		nee	0
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	ja	1
		nee	0
c	Indien coupure zonder permanent keermiddel: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?	ja	-1
		nee/nvt	0
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie	a4+b+c	max 5

Tabel 13 Definitieve scoretabel Mobilisatie

Vraag		Antwoord	Score
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	ja	
		nee	
a2	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	ja	
		nee	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	ja	
		nee	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	3
		nee	0
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	ja	2
		nee	0
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	max 5

Tabel 14 Definitieve scoretabel Bediening



Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	
A	a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja nee	0,5 0
		A	a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?
A	a3			Worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zondig aan het sluitmiddel zelf?
		Aandrijving	c	Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?
Aandrijving	b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	ja nee	1 0
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	min 0 max 1,5
Keermiddel	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	ja nee	1 1,5
		Keermiddel	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?
Keermiddel	g			Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?
		Keermiddel	b2	Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?
Keermiddel	h			Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)
Keermiddel	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	min 0,5 max 1,5
Sluiting eerste	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	Min(d,i)	min 0 max 1,5
2de keermiddel	b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	ja nee	0,75 0
		Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?
Aandrijving	l			Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?
Sluiting tweede keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k, b3+l)	min 0 max 1
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3+j+m	max 5

Tabel 15 Definitieve scoretabel Technisch falen

## Referenties

- [Ref. 1] WTI 2017 Kunstwerken -Achtergrondrapport toetsspoor Betrouwbaarheid Sluiting I - Verbeteren gedetailleerde toets, Deltares, kenmerk 1220087-002-GEO-0012, definitief, februari 2016
- [Ref. 2] Betrouwbaarheidsbeoordeling van de sluiting van beweegbare waterkeringen, Fugro, opdrachtnummer M-0185, 16 mei 1994
- [Ref. 3] Leidraad Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, 1997
- [Ref. 4] Handreiking borging betrouwbaarheid sluiting in draaiboeken, Achtergrondrapport bij het gebruik van de scoretabellen voor het faalmechanisme niet sluiten, B. van Bree, november 2017
- [Ref. 5] Beschouwing geavanceerde betrouwbaarheidsanalyses van de Meppelerdiepsluis en keersluis Limmel, Een vergelijking van resultaten van geavanceerde risicoanalyses met de standaard foutenbomen + scoretabellen, A. Casteleijn en B. van Bree, november 2017
- [Ref. 6] Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade Zutphen, B. van Bree en A. Casteleijn, november 2017
- [Ref. 7] Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever, B. van Bree en A. Casteleijn, november 2017
- [Ref. 8] Leidraad Risicogestuurd Beheer en Onderhoud, Handleiding kwantitatieve analyse menselijk handelen bij waterkeringen (OPSCHEP-model), RWS-GPO, 9 juli 2013 versie 1.0
- [Ref. 9] Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen - Actualisatie van de gedetailleerde methode van betrouwbaarheid sluiten van kunstwerken voor ontwerpen en beoordelen, A. Casteleijn en B. van Bree, november 2017
- [Ref. 10] Dijkkring 15, Lopiker- en Krimpenerwaard - Achtergrondrapport Keersluis Schoonhoven, Rijkswaterstaat Projectbureau VNK2
- [Ref. 11] Samenvattingen van enkele risicoanalyses van beweegbare keringen, Rijkswaterstaat DWW, documentnummer B-90-827, januari 1991
- [Ref. 12] Risico-analyse Keersluis en Coupures te Schoonhoven, TNO-rapport B-90-334, mei 1990

## Bijlage A Update cases scoretabellen LK2003

### A.1 Algemeen

De scoretabellen die zijn opgenomen in de Leidraad Kunstwerken 2003 zijn gevalideerd aan de hand van een viertal cases (zie [Ref. 2]):

- keersluis Schoonhoven
- keersluis Schipdiep
- coupure Tolkamer
- coupure Den Oever

Voor de kunstwerken keersluis Schoonhoven, coupure Tolkamer en coupure Den Oever zijn foutenbomen opgesteld. Op basis van deze foutenbomen is de faalkans voor niet-sluiten bepaald en is beoordeeld of de scoretabellen hier in voldoende mate op aansluiten.

De foutenbomen uit deze studie uit 1994 zijn op onderdelen gedateerd geraakt. Daarom wordt in deze bijlage een actualisatieslag gemaakt van de foutenbomen en worden de bijbehorende faalkansen opnieuw berekend.

Voor de keersluis Schipdiep zijn geen foutenbomen opgenomen in [Ref. 2], en onderliggende stukken. Voor dit kunstwerk was het daarom niet mogelijk een actualisatie uit te voeren.

Voor de coupure Tolkamer zijn in [Ref. 11] wel foutenbomen opgenomen, maar de onderbouw van de gehanteerde faalkansen ontbreekt. Daarnaast is de foutenboom zeer globaal en zou sowieso nadere uitwerking noodzakelijk zijn. Omdat de coupure Tolkamer inmiddels is aangepast naar een coupure met een stalen deur, is deze minder representatief voor een standaard coupure met schotbalken zoals deze veelvuldig voorkomt in het bovenrivierengebied. Daarom is ervoor gekozen de coupure Tolkamer niet nader uit te werken. In plaats daarvan is een gedetailleerde uitwerking gemaakt van een schotbalkcoupure in het bovenrivierengebied (zie rapport *Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade Zutphen* [Ref. 6]).

Ook voor de coupure Den Oever ontbreken gedetailleerde foutenbomen in [Ref. 1]. Voor deze coupure is eveneens een nadere analyse gemaakt. Dit is vastgelegd in een apart bijlage rapport *Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever* (zie bijlage D en [Ref. 7]).

In deze bijlage wordt dus alleen voor de keersluis Schoonhoven een actualisatie uitgevoerd.

### A.2 Keersluis Schoonhoven

#### A.2.1 *Korte beschrijving kunstwerk*

Onderstaand is relevante informatie over het kunstwerk overgenomen uit het VNK-rapport [Ref. 10].

#### *Locatie*

De Keersluis Schoonhoven is gelegen aan de noordkant van de Lek. De keersluis vormt de toegang tot de binnenhaven van Schoonhoven. De primaire waterkering waarin de keersluis gelegen is, is onderdeel van dijkkring 15, Lopiker- en

Krimpenerwaard. De keersluis schermt bij hoogwater op de Lek de binnenhaven en de bebouwde kom van Schoonhoven af. Figuur 9 laat de locatie van de Keersluis Schoonhoven en het achterliggende gebied zien.



Figuur 9 Locatie keersluis Schoonhoven

#### *Gegevens constructie*

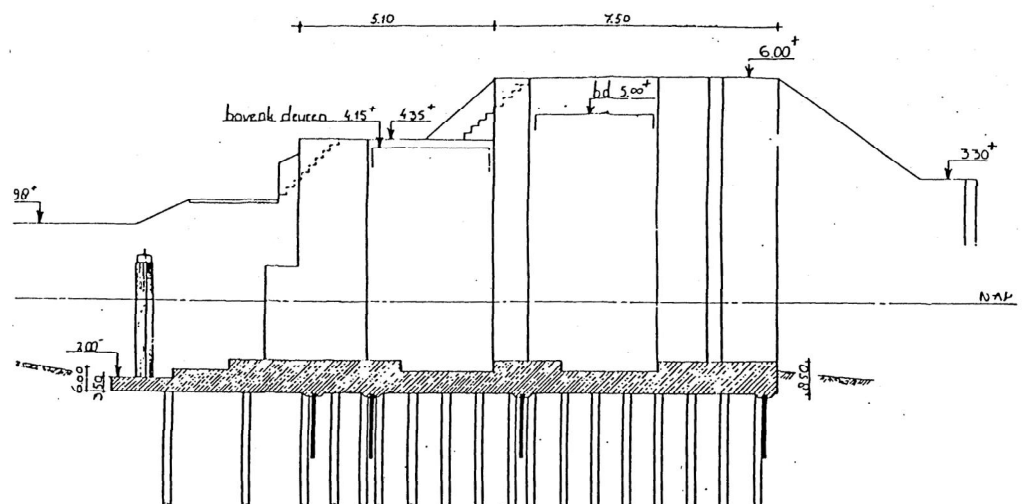
De Keersluis Schoonhoven bestaat uit een gemetselde constructie, met een doorvaartopening van ruim 5 m breed en een lengte van 20 m. In de keersluis zijn drie sets puntdeuren aanwezig, dit zijn (van buiten naar binnen gezien), 2 sets vloeddeuren en 1 set ebdeuren. Wanneer de keermiddelen gesloten zijn, is de kerende hoogte van het kunstwerk NAP + 5,00 m (eerste set vloeddeuren). De tweede set vloeddeuren is lager dan de eerste set, namelijk NAP + 4,15 m. De drempelhoogte van de keersluis is NAP - 1,58 m. In Figuur 10 is een foto van de keersluis opgenomen. Figuur 11 en Figuur 12 geven de globale afmetingen van het kunstwerk, de keermiddelen en de kwelschermen weer.



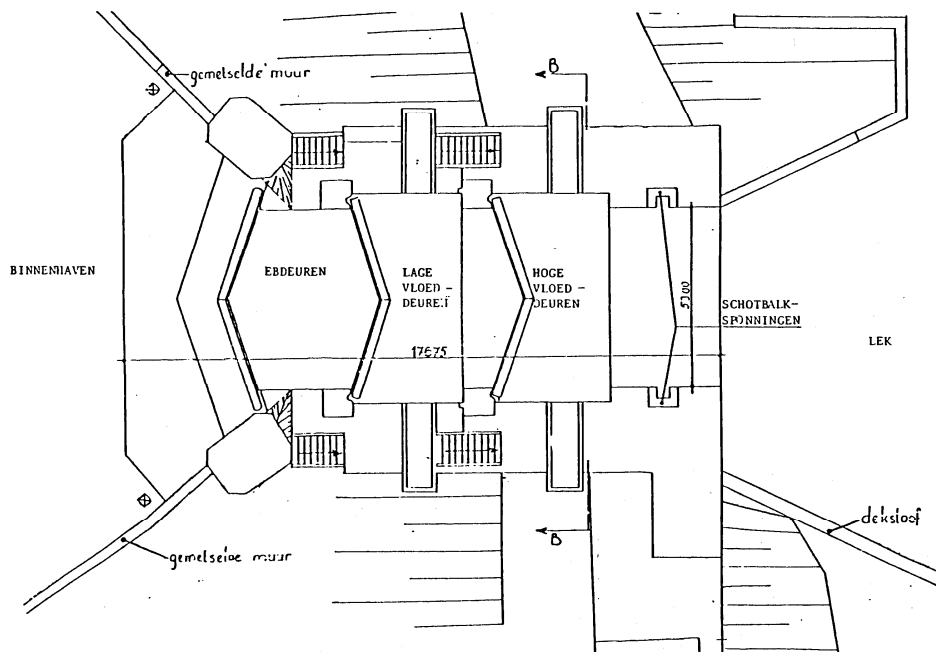
Figuur 10 Keersluis Schoonhoven, aanzicht (links, keermiddel gesloten), vloeddeur (rechts, keermiddel geopend, archiefbeeld)

De Keersluis Schoonhoven is gebouwd rond 1860. Achtereenvolgend zijn de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- 1956, renovatie;
- 1990, aanbrengen kwelschermen en stabiliteitsverbetering, deze verbeteringen zijn uitgevoerd in het kader van de dijkversterking;
- 1995, onderhoud vloeddeuren.
- 2011, vervanging houten deuren



Figuur 11 Doorsnede Keersluis Schoonhoven, met keermiddelen (bron: Risico-analyse Keersluis en Coupures te Schoonhoven)



Figuur 12 Bovenaanzicht Keersluis Schoonhoven (bron: Risico-analyse Keersluis en Coupures te Schoonhoven)

### Gebruik en bediening

*Cursief zijn enkele aanvullingen weergegeven die zijn opgenomen nadat telefonisch contact is opgenomen met de heer Sjoerdsma (beheerder) van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.*

In de zomer is de keersluis normaliter geopend ten behoeve van het verlenen van toegang tot de achterliggende haven. Alleen kleine vaartuigen maken gebruik van de keersluis. De keersluis is gedurende het stormseizoen permanent gesloten.

In de zomerperiode wordt de keersluis bij waterstanden boven NAP +1,50m gesloten. Volgens de beheerder vindt dit gemiddeld eens per zomerperiode plaats, doorgaans in de periode direct aansluitend op het stormseizoen. De vloeddeuren worden handmatig gesloten, waarbij zowel de hoge als de lage vloeddeuren worden gesloten. De schotbalken worden alleen toegepast bij onderhoud en in het geval de sluisdeuren niet meer functioneren. *Daarnaast vindt een proefsluiting plaats voorafgaand aan de sluiting voor het winterseizoen waarbij beide deurstellen gesloten worden. De hoge deur wordt dus gemiddeld 2 maal per jaar gesloten (proefsluiting + winterseizoen sluiting) en de lage deur gemiddeld 3 maal per jaar (proefsluiting + winterseizoen sluiting + hoogwatersluiting bij 1,50 m+NAP).*

De set ebdeuren dient voor het vasthouden van het water in de haven in het geval van waterstanden lager dan NAP+0,05 m.

Het beheer van de keersluis is in handen van het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard sinds 2005. De bediening wordt uitgevoerd door de gemeente Schoonhoven.

### Gebruikservaring

De informatie die hier is vermeld is afkomstig van het veldbezoek aan het kunstwerk met de beheerder d.d. 15 april 2011.

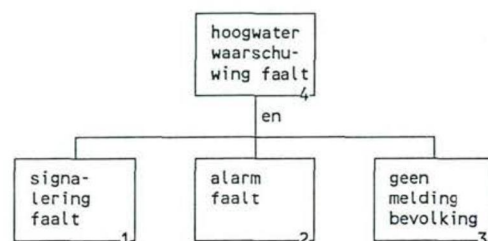
De onderhoudstoestand is redelijk tot goed. Bij het passeren van schepen op de Lek ontstaat een variatie in het waterpeil van enkele cm. Samen met de golfslag wordt een beweging van de (handbediende) deuren veroorzaakt, die zich het best laat omschrijven als 'klapperen' (bron: Controle deuren keersluis Schoonhoven). Hierdoor treedt verhoogde slijtage op aan de deuren en aan de constructie. Ten behoeve van het geopend houden van de deuren wordt aan de bovenzijde een ketting met hangslot aangebracht. Ondanks deze ketting blijft het probleem zich voordoen. *Daarom is een aanpassing gemaakt en worden de deuren nu met heugels dichtgedrukt om klapperen te voorkomen als een schip langs vaart. Er is een voorziening getroffen in de tandwielkast die zorgen voor blokkade van de heugelstang. De windwerken zijn 4 jaar geleden gereviseerd. Er zijn geen storingen bekend in de bediening in de afgelopen 13 jaar.*

Er zijn voor de rest geen incidenten bekend. Ook tijdens het sluiten van de sluis zijn nog geen storingen opgetreden. *De beheerder meldt nog wel dat ca 7 jaar geleden de lage deur 1x niet helemaal gesloten kon worden vanwege een steen op de drempel. Verder is het nog niet voorgekomen dat de hoge deur niet kon worden gesloten nadat de lage deur niet gesloten kon worden. De kans dat de beide deuren niet sluiten en het obstakel niet binnen de hersteltijd verwijderd kan worden wordt door de beheerder ingeschat als verwaarloosbaar.*

#### A.2.2 Actualisatie foutenboom Alarmering

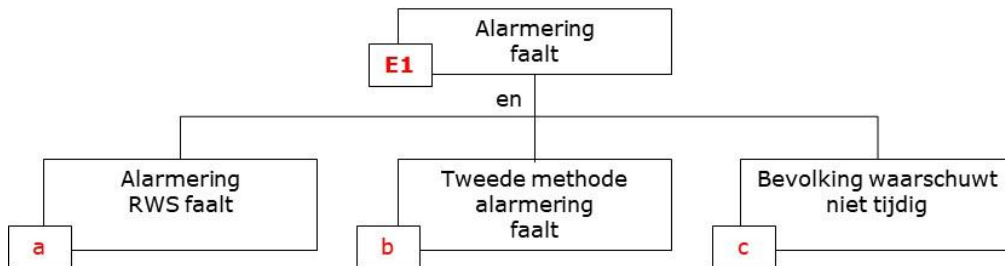
In [Ref. 2] is de volgende foutenboom met bijbehorende faalkansen gehanteerd:

##### a. Hoogwater waarschuwingssysteem



1. Signalering door sluismeester (aflezen peilschaal). permanent aanwezig bij veerpont. Faalkans  $P_1 = 10^{-3}$ .
2. Alarm in binnenhaven (zelfregistrerend), wordt doorgegeven naar permanent bezette meldkamer. Faalkans  $P_2 = 5 \cdot 10^{-2}$ .
3. Bij overlopen van de kaden zal de bevolking waarschijnlijk actie ondernemen. Veiligheidshalve wordt deze kans laag ingeschat:  $P_3 = 10^{-1}$ .
4. Falen treedt op indien alle drie systemen falen. Totale faalkans  $P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 5 \cdot 10^{-6}$ .

Deze wordt aangepast naar:



Hierbij worden de volgende faalkansen gehanteerd:

- ervan uitgaand dat procedures correct zijn geborgd en jaarlijks actualisatie plaatsvindt wordt conform [Ref. 1] voor de Hoogwater alarmering door Rijkswaterstaat uitgegaan van een faalkans van  $a=10^{-4}$  [1/vraag]
- Als tweede methode wordt het zelfregistrerende alarm in de binnenhaven ongewijzigd overgenomen:  $b=5 \cdot 10^{-2}$  [1/vraag]
- De derde methode zou kunnen zijn signalering en alarmering door de sluismeester (aflezen peilschaal). Er is permanent een sluismeester aanwezig:  $c=10^{-3}$  [1/vraag]
- Bevolking waarschuwt is buiten beschouwing gelaten hoewel dit reëel is in een stedelijke omgeving. Dit kan echter niet geformaliseerd worden. Ook het actief online volgen van waterstanden door medewerkers van het waterschap is niet meegenomen.

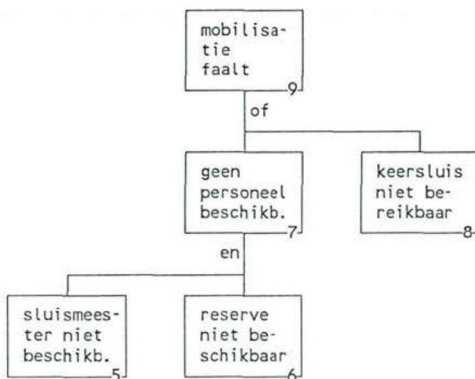
De faalkans voor Alarmering komt hiermee op  $(a \times b \times c =) 5 \cdot 10^{-9}$  [1/vraag].

### A.2.3

#### Actualisatie foutenboom Mobilisatie

In [Ref. 2] is de volgende foutenboom met bijbehorende faalkansen gehanteerd:

#### b. Mobilisatie



- De sluismeester is permanent aanwezig. De kans dat de sluismeester ten gevolge van een ongeval niet beschikbaar is, is klein:  $P_5 = 10^{-3}$ .
- Een lijst met verantwoordelijkheden, reservepersoneel etc. is bekend. De kans dat de reservefunctionaris niet beschikbaar is, wordt gesteld op  $P_6 = 6 \cdot 10^{-2}$ .
- De kans op het niet beschikbaar zijn van bedienend personeel volgt uit  $P_7 = P_5 \cdot P_6 = 6 \cdot 10^{-5}$ .
- De waterstanden zijn in de mobilisatieperiode nog voldoende laag, odat de kans op een niet bereikbare sluis wordt gesteld op  $P_8 = 10^{-5}$ .
- Totale faalkans  $P_9 = P_7 + P_8 = 7 \cdot 10^{-5}$ .



De onderbouwingen van de hierboven gehanteerde faalkansen ontbreken in [Ref. 2]. Wel is te zien dat de faalkans voor Mobilisatie met name wordt bepaald door het niet beschikbaar zijn van een reservefunctionaris. Hiervoor is een faalkans van  $6 \cdot 10^{-2}$  per vraag aangehouden. Op basis van tabel 3.11 van de Leidraad Kunstwerken 2003 (niet bereikbaar zijn van personeel indien geregeld, er is reservepersoneel beschikbaar) is hiervoor een waarde van  $1 \cdot 10^{-2}$  per vraag aangehouden. Hiermee komt de kans op het niet beschikbaar zijn van bedienend personeel op  $1 \cdot 10^{-3} * 1 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 10^{-5}$ . Daarnaast wordt opgemerkt dat andere herstelmogelijkheden (bijvoorbeeld ad hoc mobilisatie van een medewerker die niet op de reservelijst staat) niet zijn meegenomen.

De faalkans voor het niet-bereikbaar zijn van de keersluis door hoogwater is op  $1 \cdot 10^{-5}$  per vraag gesteld. De keersluis is echter onder alle omstandigheden hoogwatervrij bereikbaar. Daarnaast is de keersluis ook via de weg op meerdere manieren bereikbaar en volstaat de mobilisatie van 1 persoon om de deuren van de sluis te sluiten. Op basis van de analyse voor de coupure Den Oever (zie [Ref. 7]), waar ook slechts 1 persoon gemobiliseerd hoeft te worden om de deuren van de coupure te sluiten, wordt een faalkans van  $5 \cdot 10^{-7}$  per vraag aangehouden voor het niet-bereikbaar zijn van de keersluis.

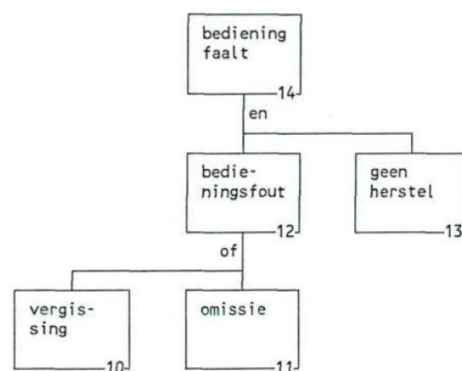
Met deze aanpassingen komt de score voor Mobilisatie op  $1,0 \cdot 10^{-5} + 5 \cdot 10^{-7} = 1,05 \cdot 10^{-5}$  uit in plaats van  $7 \cdot 10^{-5}$  [1/vraag].

#### A.2.4

#### Actualisatie foutenboom Bediening

In [Ref. 2] is de volgende foutenboom met bijbehorende faalkansen gehanteerd:

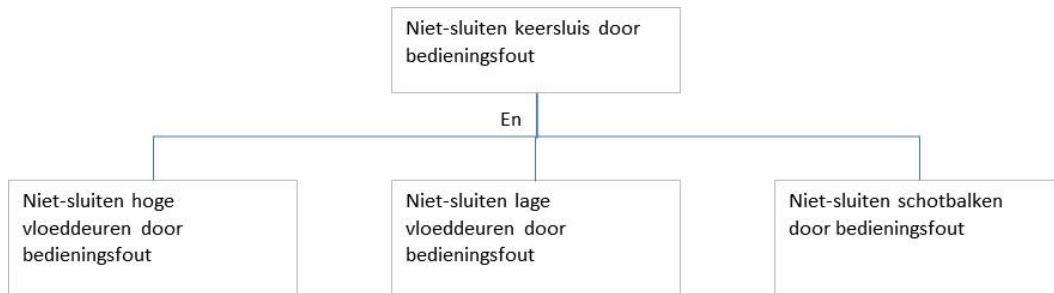
##### c. Bedieningsfout



10. Alle handelingen zijn vastgelegd in een procedures, die regelmatig worden geoefend. De kans op een vergissing wordt geschat op  $P_{10} = 10^{-3}$ .
11. Evenzo wordt de kans op een omissie geschat op  $P_{11} = 10^{-3}$ .
12. De kans op een bedieningsfout is gelijk aan  $P_{12} = P_{10} + P_{11} = 2 \cdot 10^{-3}$ .
13. kans op geen tijdig herstel wordt geschat op  $10^{-1}$ .
14. De totale faalkans is dan  $P_{14} = P_{12} \cdot P_{13} = 2 \cdot 10^{-4}$ .

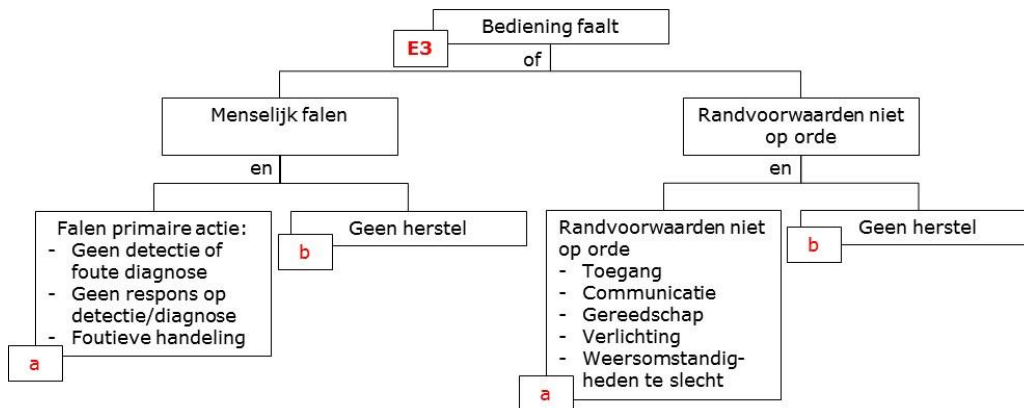
In [Ref. 2] zijn de faalkansen geschat. Deze inschatting lijkt aan de conservatieve kant te zijn. Daarom wordt onderstaand een nadere inschatting gemaakt. Daarbij wordt naast de mogelijkheid van een bedieningsfout (menselijk falen) ook rekening gehouden met het feit dat hulpmiddelen of randvoorwaarden voor een juiste bediening niet op orde kunnen zijn.

Omdat er sprake is van onafhankelijke keermiddelen is de kans dat de sluiting van de keersluis Schoonhoven faalt als gevolg van een bedieningsfout gelijk aan het product van de faalkansen van de afzonderlijke keermiddelen.



*Niet sluiten hoge vloeddeuren door bedieningsfout*

De kans dat de hoge vloeddeur niet sluit als gevolg van een bedieningsfout (=menselijk falen uit de standaard foutenboom) bestaat uit de kans op een bedieningsfout maal de kans dat herstel van deze fout faalt. Daarnaast kunnen de randvoorwaarden zodanig zijn dat niet tot sluiting kan worden overgegaan.

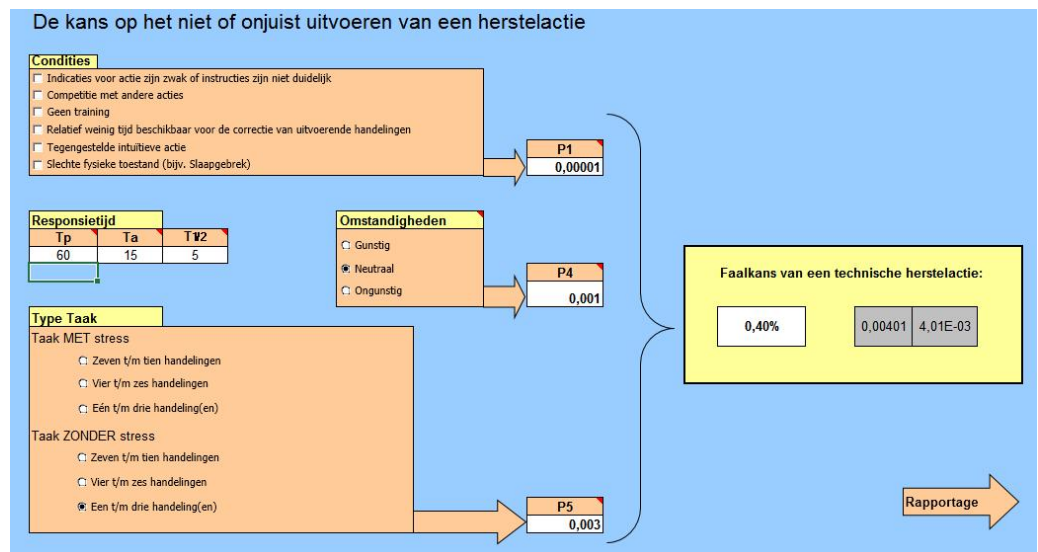


De kans op een foutieve handeling wordt overgenomen uit [Ref. 2] en aangehouden op  $10^{-3}$ . Deze kans wordt plausibel geacht. Het aantal handelingen is zeer beperkt en de aard van de handeling is zeer eenvoudig (openen luik, handmatige bediening windwerk tandwielkast).

De kans op herstel van een foutieve handeling (menselijk falen) is ingeschat aan de hand van het Opschep-model. Hierbij is ervan uitgegaan dat:

- er geen sprake is van verzwarende condities zoals onduidelijke instructies, gebrek aan training of slaapgebrek van de bedienaar.
- relatief veel hersteltijd
- neutrale omstandigheden
- één of twee benodigde handelingen zonder stress

De berekende faalkans van het herstel is dan  $4 \cdot 10^{-3}$  [1/vraag]. Hiermee komt de kans op een foutieve handeling én geen tijdig herstel op  $4 \cdot 10^{-6}$  [1/vraag].



De kans dat de randvoorwaarden niet op orde zijn én geen tijdig herstel hiervan kan plaatsvinden wordt niet dominant geacht in deze situatie. De hulpmiddelen zijn permanent aanwezig, voor toegang zijn procedures opgesteld en herstel is met eenvoudige middelen mogelijk. De gezamenlijke kans hierop wordt aangehouden op  $10^{-5}$  [1/vraag] (inschatting door auteurs). Hiermee komt de totale faalkans voor bediening van het eerste keermiddel op  $1,4 \cdot 10^{-5}$  [1/vraag].

#### Lage vloeddeuren

Omdat er sprake is van onafhankelijke keermiddelen wordt na falen van de eerste set deuren de tweede set deuren gesloten. De bediening hiervan is identiek aan de bediening van de eerste set deuren. Daarom wordt de kans op een bedienfout van het tweede keermiddel gegeven een bedienfout van het eerste keermiddel als vrij groot ingeschat op  $10^{-1}$  [1/vraag].

#### Schotbalken

De schotbalken kunnen dan nog als laatste gesloten worden. De kans op een foutieve handeling wordt hierbij een stuk groter ingeschat dan bij de puntdeuren omdat er veel meer handelingen verricht moeten worden. Deze kans wordt ingeschat op  $2 \cdot 10^{-2}$  [1/vraag], vanuit de eenvoudige gedachte dat  $10^{-2}$  wellicht wat optimistisch is en  $10^{-1}$  wellicht wat pessimistisch. Vanuit deze zelfde gedachte wordt de kans op herstel ingeschat als  $2 \cdot 10^{-1}$  [1/vraag], wat resulteert in een totale faalkans voor een foutieve handeling van  $4 \cdot 10^{-3}$  [1/vraag].

De kans dat hulpmiddelen niet op orde zijn wordt bepaald door de kans dat een mobiele kraan die benodigd is voor het plaatsen van de schotbalken à la minute gemobiliseerd moet worden en daardoor niet tijdig beschikbaar is. Deze kans wordt arbitrair ingeschat op  $10^{-2}$  [1/vraag]. Een andere manier van plaatsen wordt niet realistisch geacht, waardoor geen kans op herstel is meegenomen.

De totale faalkans voor het plaatsen van de schotbalken komt hiermee op  $1,4 \cdot 10^{-2}$  [1/vraag].

*Totale faalkans als gevolg van een bedienfout*

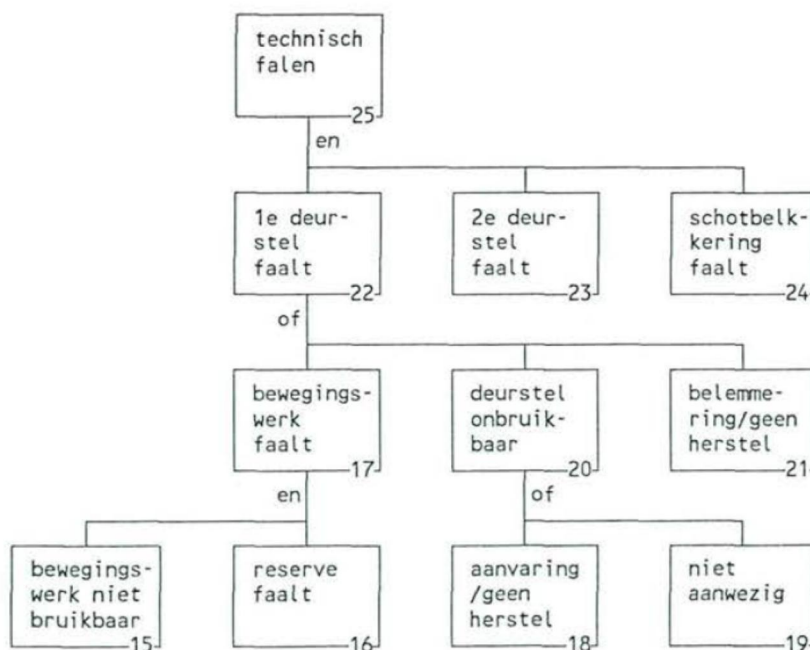
De totale faalkans als gevolg van een bedienfout voor de keersluis Schoonhoven bedraagt dan  $1,4 \cdot 10^{-5}$  (faalkans eerste keermiddel)  $\times 10^{-1}$  (faalkans tweede keermiddel)  $\times 1,4 \cdot 10^{-2}$  (faalkans schotbalkkering) =  $2,0 \cdot 10^{-8}$  [1/vraag].

A.2.5

*Actualisatie foutenboom Technisch falen*

In [Ref. 2] is de volgende foutenboom met bijbehorende faalkansen gehanteerd:

d. *Technisch falen afsluitmiddelen*



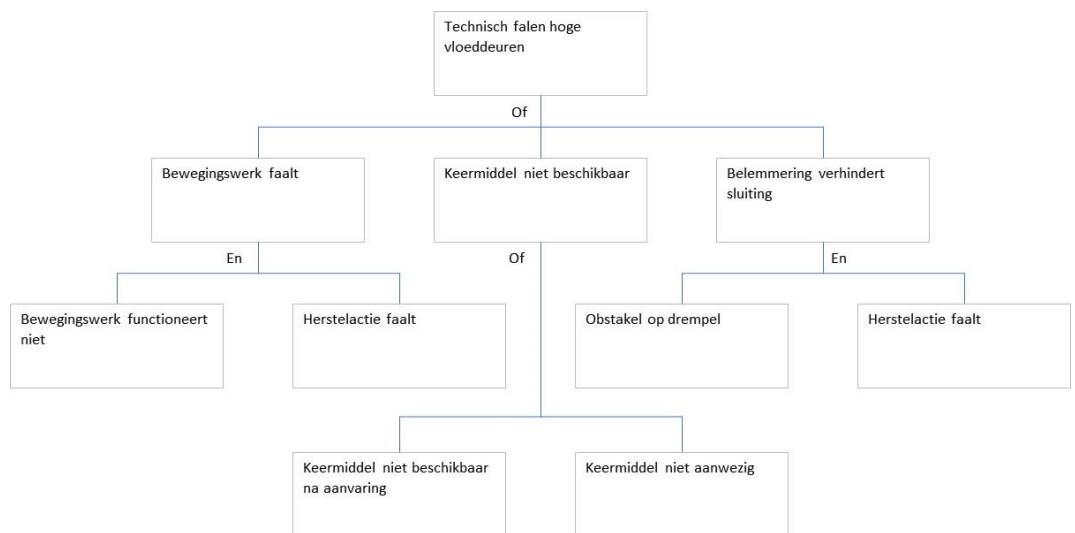
15. De puntdeuren zijn handbediend. De kans op een defect bewegingswerk wordt gesteld op  $P_{15} = 10^{-4}$ .
16. Er is geen reserve bewegingswerk, ofwel  $P_{16} = 1$ .
17. De faalkans van het bewegingswerk is gelijk aan  $P_{17} = P_{15} \cdot P_{16} = 10^{-4}$ .
18. De kans op een defect deurstel ten gevolge van niet tijdig herstelde aanvaringschade wordt verwaarloosbaar klein geacht:  $P_{18} = 0$ .
19. Het deurstel is permanent aanwezig, ofwel  $P_{19} = 0$ .
20. De kans op een onbruikbaar deurstel is verwaarloosbaar klein:  $P_{20} = P_{18} + P_{19} = 0$ .
21. De kans op een belemmering of obstakel dat niet tijdig kan worden verwijderd, wordt geschat op  $P_{21} = 10^{-2}$ .
22. De faalkans van het 1e deurstel is  $P_{22} = P_{17} + P_{20} + P_{21} = 10^{-2}$ .
23. De faalkans van het 2e deurstel wordt in verband met correlaties een orde hoger geschat:  $P_{23} = 10^{-1}$ .
24. De faalkans van de schotbalkkering wordt gesteld op  $P_{24} = 3 \cdot 10^{-1}$ .
25. De kans op technisch falen komt daarmee op  $P_{25} = P_{22} \cdot P_{23} \cdot P_{24} = 3 \cdot 10^{-4}$ .

Alle faalkansen betreffen geschatte faalkansen.

Deze foutenboom wordt onderstaand iets verder uitgewerkt:



De tak 'Technisch falen hoge vloeddeuren' ziet er dan als volgt uit:



Feitelijk is in de originele en aangepaste analyse geen onderscheid gemaakt in de oorzaak van falen voor het bewegingswerk en enkel rekening gehouden met merkbaar falen (aanvaring keermiddelen voorafgaand aan sluiting) en falen tijdens sluiten (belemmering) voor het keermiddel.

De kans op een defect bewegingswerk wordt overgenomen uit [Ref. 2] als zijnde  $10^{-4}$  [1/vraag]. In tegenstelling tot [Ref. 2] wordt wel een kans op herstel meegenomen. Als het bewegingswerk faalt zijn er immers herstelacties mogelijk ondanks dat een reservebewegingswerk ontbreekt. Denk bijvoorbeeld aan het loskoppelen van de heugelstang en het dichtdrukken van de deur met een stok. Gezien de eenvoudige aard van deze herstelactie wordt hiervoor een faalkans van  $10^{-2}$  aangehouden. Hiermee komt de faalkans van het bewegingswerk op  $10^{-6}$  [1/vraag].

De kans dat het keermiddel niet beschikbaar is wordt verwaarloosbaar klein geacht, net als in [Ref. 2].

De kans op een belemmering wordt wel aangescherpt naar aanleiding van het telefonische gesprek dat met de beheerder is gevoerd. Op basis van beheerervaring wordt de kans op een belemmering aangehouden op  $2 \cdot 10^{-2}$  [1/vraag] (1 keer voorgekomen in afgelopen 13 jaar, gemiddeld 3 sluitvragen per jaar dus faalkans is aangehouden als  $1/(3 \times 13)$  per jaar). De beheerder geeft aan dat er ruim de tijd is

om een duikploeg te organiseren om het obstakel te verwijderen. De kans dat de herstelactie faalt is conservatief aangehouden op  $10^{-1}$ , waarmee de kans op een belemmering  $2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-1} = 2 \cdot 10^{-3}$  per vraag wordt. Dit is tevens de totale faalkans van het eerste keermiddel.

Vanwege redundantie is in [Ref. 2] een factor 10 aangehouden voor falen van de lage vloeddeuren gegeven falen van de hoge vloeddeuren. Hoewel dit naar de mening van de auteurs een conservatieve inschatting is wordt deze hier ongewijzigd overgenomen. De faalkans van de tweede deur komt hiermee op  $2 \cdot 10^{-2}$  [1/vraag].

Voor kans dat plaatsing schotbalken faalt is  $10^{-1}$  aangehouden. Ten opzichte van [Ref. 2] is de faalkans wat gunstiger ingeschat omdat nu alleen in het zomerseizoen wordt gesloten. Hierdoor zijn de omstandigheden om te sluiten gunstiger.

De totale faalkans voor technisch falen komt hiermee op  $2 \cdot 10^{-3} \times 2 \cdot 10^{-2} \times 10^{-1} = 4 \cdot 10^{-6}$  [1/vraag].

#### A.2.6 *Overzicht berekende faalkansen keersluis Schoonhoven*

Voor de keersluis Schoonhoven zijn de volgende faalkansen berekend:

Beoordelingsaspect	Faalkans uit [A.1]	Faalkans na actualisatie	Belangrijkste reden voor verschil
Alarmering	$5 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-9}$	Alarmering door Rijkswaterstaat toegevoegd
Mobilisatie	$7 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	-
Bediening	$2 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-8}$	Afzonderlijke keermiddelen meegenomen
Technisch falen	$3 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-6}$	Kans op herstel van belemmering expliciet meegenomen
<b>Totaal</b>	$5,75 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	

Te zien valt dat de faalkans wordt gedomineerd door de faalkans van de mobilisatieprocedure. Deze faalkans is ongewijzigd overgenomen uit [Ref. 2] omdat de exacte mobilisatieregeling niet bekend is.

#### A.2.7 *Score met scoretabellen*

In deze paragraaf wordt de faalkans voor de beoordelingsaspecten Alarmering, Mobilisatie, Bediening en Technisch falen geschat met de scoretabellen uit hoofdstuk 0. Vervolgens wordt dit vergeleken met de berekende resultaten uit de vorige paragraaf.

*Score met scoretabel voor deelaspect Alarmering*

De score voor het deelaspect Alarmering wordt bepaald aan de hand van drie vragen.

Vraag	Antwoord	Score
a	Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	ja 4
b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	ja 2
c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	ja 1
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering	a+b+c 7

Tabel 16 Scoretabel Alarmering

Vraag a. Wordt het contact met Rijkwaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?

Antwoord: Ja, dit gebeurt standaard vanuit het Watermanagement Centrum Nederland (WMCN).

Vraag b. Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?

Antwoord: Ja, het zelfregistrerende alarm in de binnenhaven.

Vraag c. Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?

Antwoord: Ja

De faalkans volgens de scoretabellen bedraagt  $E1 = 1,0E-7$ .

*Score met scoretabel voor deelaspect Mobilisatie*

De score voor het deelaspect Mobilisatie wordt bepaald aan de hand van de volgende vragen.

Vraag	Antwoord	Score
a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?	ja
a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	ja
a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	ja
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja 4
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: alleen van toepassing als het kunstwerk niet in het kust- of merengebied ligt	ja 1
c	Indien coupure: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?	nee/nvt 0
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie	a4+b+c 5

Tabel 17 Scoretabel Mobilisatie

Vraag a1. Is er een schriftelijk vastgelegde up to date mobilisatieregeling inclusief standby regeling en terugmeldingssysteem?

Antwoord: Ja.

Vraag a2. Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?

Antwoord: Ja.

Vraag a3. Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?

Antwoord: Ja.

Vraag b. Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling?

Antwoord: Ja.

Vraag c. Indien coupure: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?

Antwoord: Niet van toepassing, kunstwerk is een keersluis.

De faalkans volgens de scoretabellen bedraagt  $E2 = 1,0E-5$ .

*Score met scoretabel voor deelaspect Bediening*

De score voor het deelaspect Bediening wordt bepaald aan de hand van de volgende vier vragen.

Vraag	Antwoord	Score	
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	ja	
a2	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	ja	
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	ja	
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	3
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	ja	2
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	5

Tabel 18 Scoretabel Bediening

Vraag a1. Is een sluitprocedure aanwezig?

Antwoord: Ja.



Vraag a2. Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?

Antwoord: Ja. De hoge deur wordt dus gemiddeld 2 maal per jaar gesloten (proefsluiting + winterseizoen sluiting) en de lage deur gemiddeld 3 maal per jaar (proefsluiting + winterseizoen sluiting + hoogwatersluiting bij 1,50 m+NAP).

Vraag a3. Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?

Antwoord: Ja.

Vraag b. Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure?

Antwoord: Ja.

De score volgens de scoretabellen bedraagt hiermee 1,0E-5.

*Score met scoretabel voor deelaspect Technisch falen*

De score voor het deelaspect Technisch falen wordt bepaald aan de hand van de volgende vragen. De gemaakte keuzen zijn onder de tabel toegelicht.

Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score
A	a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	ja 0,5
A	a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?	ja 1,5
A	a3	Worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zonodig aan het sluitmiddel zelf?	ja 0,5
Aandrijving	c	Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja 0,5
Aandrijving	b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	nee 0
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1 0,5
Keermiddel	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	nee 1,5
Keermiddel	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	nee 1,5
Keermiddel	g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?	ja 0,5
Keermiddel	b2	Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	ja/nvt 0,5
Keermiddel	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2 1
Keermiddel	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h) 1
Sluiting eerste keermiddel	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	Min(d,i) 0,5
2de keermiddel	b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel	ja 0,75
Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	nee 0,25
Aandrijving	l	Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	ja 0,25
Sluiting tweede keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k, b3+l) 1
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelacties	a1+a2+a3+j+m 4

Tabel 19 Scoretabel Technisch falen

De faalkans van de keersluis Schoonhoven met standaard foutenboom en scoretabel voor het beoordelingsaspect Technisch falen is  $10^{-4} = 1,0 \cdot 10^{-4}$  per sluitvraag.

Vraag a1: is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?

Antwoord: Ja.

Vraag a2: wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle daarbij behorende 'aandrijfmechanismen'?

Antwoord: Ja, de sluiting wordt jaarlijks geoefend.

Vraag a3: worden de ervaringen van de controles, tests en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling en bedieningsprotocol of zo nodig aan het sluitmiddel zelf?

Antwoord: Ja.

Vraag c: is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?

Antwoord: Ja, de heugelstangen worden handmatig aangedreven.

Vraag b1: is er een tweede aandrijfsysteem?

Antwoord: Nee.

Vraag e: Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?

Antwoord: Nee. Merkbaar falen treedt op door aanvaring van (onderdelen van) de keersluis. Het passerende recreatieverkeer is te licht om grote schades te veropzaken.

Vraag f: Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?

Antwoord: Nee. Niet-merkbaar falen kan optreden bijvoorbeeld als de tandwielkast is vastgeroest. Voorafgaand aan het hoogwaterseizoen wordt een proefsluiting uitgevoerd. Hiermee is dit risico beheerst.

Vraag g: Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?

Antwoord: Ja. Het is 1x voorgekomen dat de sluiting niet kon plaatsvinden omdat er een steen op de drempel lag.

b2: Is er in het sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?

Antwoord: Ja, in het protocol is vastgelegd dat dan een duikploeg wordt opgetrommeld.

Vraag b3: Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerste keermiddel niet gesloten kon worden?

Antwoord: Ja, twee zelfs: de tweede deur en de schotbalkkering.

Vraag k: Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?

Antwoord: Nee. De tweede kering wordt circa 3x per jaar gesloten. Hierbij zijn nooit problemen opgetreden, daarom is deze vraag met nee beantwoord.

Vraag l: is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?

Antwoord: Ja.

## A.2.8

*Vergelijking scores scoretabellen en analyse middels foutenbomen*

In onderstaande Tabel 20 worden de scores zoals bepaald middels de scoretabellen en de bijgewerkte analyse middels foutenbomen met elkaar vergeleken.

<b>Beoordeling middels:</b>	<b>Alarmering</b>	<b>Mobilisatie</b>	<b>Bediening</b>	<b>Technisch falen</b>	<b>Totaal</b>
Analyse	$5 \cdot 10^{-9}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
Scoretabel	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
<i>Verhoudingsgetal</i>	<i>0,05</i>	<i>1</i>	<i>0,002</i>	<i>0,04</i>	<i>0,12</i>

Tabel 20 Vergelijking resultaten scoretabellen en analyse

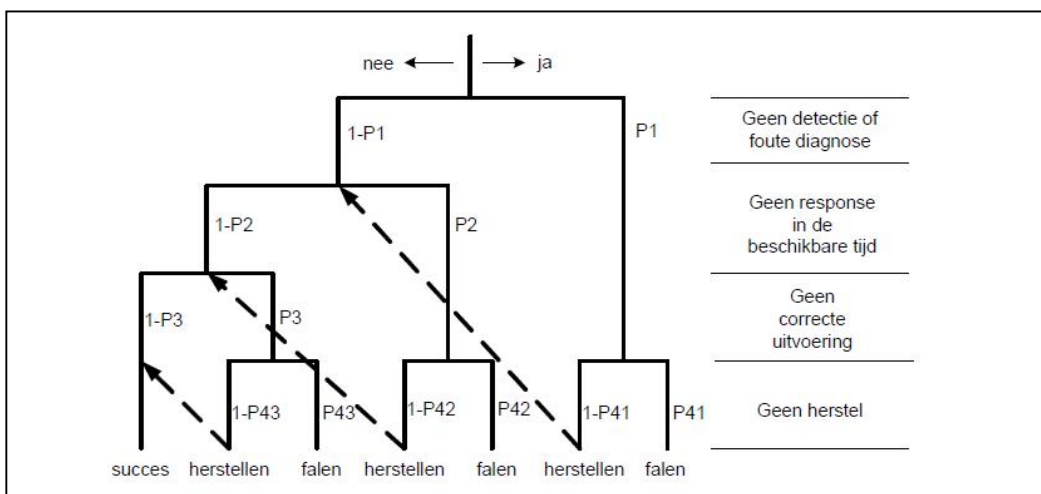
In Tabel 20 is te zien dat voor alle beoordelingsaspecten de scoretabellen een conservatievere score geven dan de analyse middel de foutenbomen, behalve voor het aspect Mobilisatie. Hier komen scoretabellen en nadere analyse precies overeen. In totaal is de score met de scoretabellen duidelijk minder gunstig dan de score middels de geavanceerde analyse, hetgeen ook wenselijk is. Dat komt doordat het aspect mobilisatie in de analyse met behulp van de scoretabellen niet het maatgevende aspect is (dat is Technisch falen).

## Bijlage B Kwantificering faalkansen voor Bediening

Bij de kwantificering van de standaard foutenboom voor bediening is voor het aandeel van menselijk falen gebruik gemaakt van het Opschepmodel ([Ref. 8]). Het gaat hierbij om de uitwerking van menselijk falen bij operationele handelingen conform het Opschepmodel. Alarmering van de calamiteitenorganisatie heeft reeds plaats gevonden en de bediener(s) zijn vervolgens gemobiliseerd en aanwezig ter plaatse van het kunstwerk.

Voor het berekenen van de kans op de menselijke fouten bij een operationele handeling wordt het onderstaande schema (Figuur 13) gebruikt. De fouten die gemaakt kunnen worden zijn:

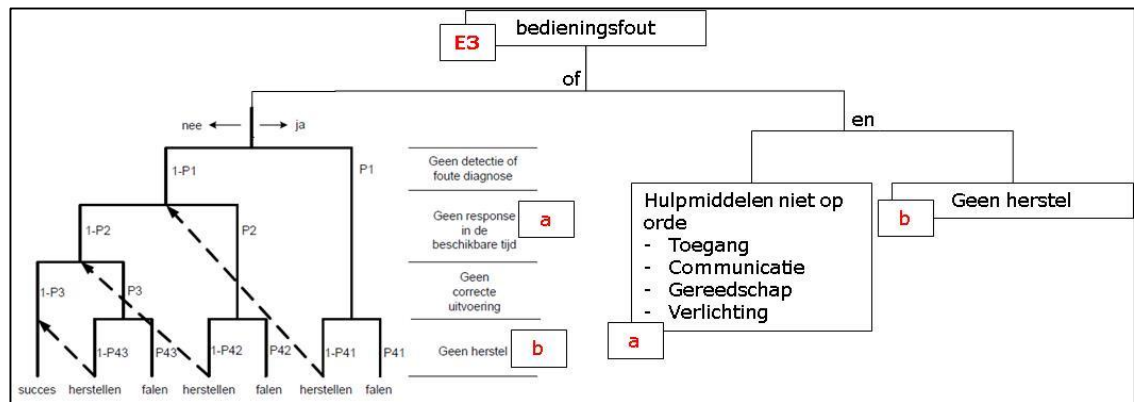
1. Het niet detecteren van de noodzaak tot de operationele handeling of het niet correct stellen van een diagnose dat de operationele handeling nodig is. De kans hierop wordt aangegeven met P1. Hierbij wordt dus aangenomen dat na Mobilisatie de bediener zelf het sluitmoment, de operationele handeling, kiest.
2. Het niet uitvoeren van de gewenste handeling binnen de beschikbare tijd. De kans hierop wordt aangegeven met P2.
3. Het niet correct uitvoeren van de gewenste handeling waardoor deze verzuimd wordt. De kans hierop wordt aangegeven met P3.
4. Het niet tijdig uitvoeren van een herstelactie van de gemaakte fout. De kans hierop wordt aangegeven met P4. Opgemerkt wordt dat elke fout de mogelijkheid heeft hersteld te worden. Omdat de kans daarop afhankelijk kan zijn van de gemaakte fout, is deze P41, P42 of P43. Dit betekent dan het bepalen van meerdere waarden voor P4 op basis van het inschatten van de aspecten die een rol spelen bij de mogelijke drie direct daarvoor gemaakte fouten.



Figuur 13: foutenboom menselijk falen bij operationele handelingen [].

De faalkansen voor 'geen respons' (P2) en 'geen correcte uitvoering' (P3) zijn in het Opschepmodel bepaald met de methode THERP (wordt beschreven in [Ref. 8]), die afkomstig is uit de nucleaire wereld.

In principe past de boom voor menselijk falen direct in de standaard foutenboom voor Bediening uit hoofdstuk 5.3, zoals hieronder weergegeven.



Figuur 14: menselijk falen uit Opschepmodel verwerkt in standaard foutenboom Bediening

### B.1 Opschepmodel

De modellering van menselijk falen met het Opschepmodel voor Bediening wordt aan de hand van de onderstaande case gemaakt:

- Tijd tussen geslaagde Mobilisatie van bedienaar(s) en moment dat kering gesloten moet zijn. Er wordt uitgegaan dat er 24 uur voor sluiting wordt gealarmeerd en mobilisatie 5 uur in beslag neemt, dus 24 – 5 = 19 uur.
- Tijd benodigd voor detectie en diagnose van de bedienaar om tot sluiting over te gaan: 15 minuten
- Uitvoeringstijd van fysieke bediening: 30 minuten.

Uit het Opschepmodel volgt, bij optimistisch invullen van de vragen vanuit de gedachte dat a1, a2 en a3 positief zijn te beantwoorden, de volgende faalkansen:

P1	P2	P3	P41	P42	P43	P <sub>f</sub>
1,00E-05	1,00E-03	3,00E-04	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,31E-03 = E-2,88

Tabel 21: kans menselijk falen bij operationele handeling exclusief herstelacties

P1	P2	P3	P41	P42	P43	P <sub>f</sub>
1,00E-05	1,00E-03	3,00E-04	1,00E-03	1,00E-03	2,00E-02	7,01E-06 = E-5,14

Tabel 22: kans menselijk falen bij operationele handeling met herstelacties

De onderliggende Opschepmodeltabellen zijn opgenomen in bijlage B.3.

In het kust- of merengebied is de tijd dat men een hoogwater ziet aankomen veel kleiner dan in het rivierengebied en is de beschikbare tijd om te sluiten dat dus ook. Mogelijkheden tot herstel worden voor bediening dan ook in deze methode niet opgenomen.

### B.2 Scoretabel

De bovenstaande faalkansen voor Bediening inclusief en exclusief herstelacties zijn de basis voor de scores in de scoretabel. De scoretabel en achterliggende standaard foutenboom bepalen de faalkansen voor menselijk falen én hulpmiddelen niet op orde.

Over het algemeen zal de kans op een bedienfout met name worden bepaald door een foutieve menselijke handeling. Fouten ten gevolge van hulpmiddelen en omstandigheden zullen in de jaarlijkse oefeningen naar voren komen en middels de plan-do-check-act cyclus worden opgelost. Wanneer dat niet gebeurt schiet het (gebruik van het) hoogwaterdraaiboek tekort en dienen de 'a-vragen' in de

scoretabel met 'nee' te worden beantwoord, wat feitelijk faalkans = 1 voor bediening oplevert.

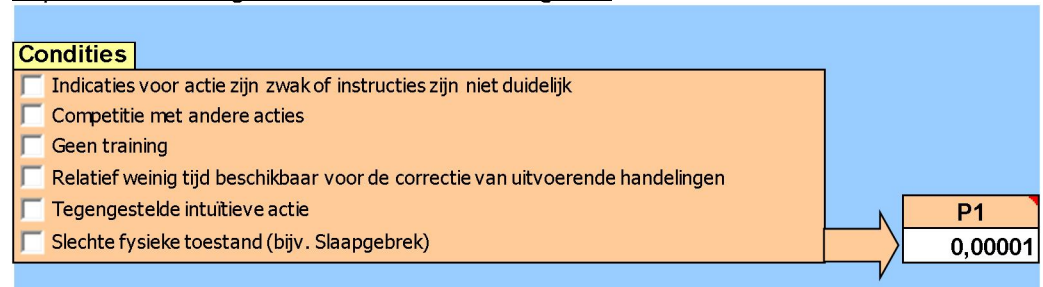
In onderstaande scoretabel zijn de resultaten van het Opschepmodel verwerkt samen met de aanname dat 90% van de faalkans wordt bepaald door menselijk falen. In het geval van 'ja' dienen de genoteerde scores te worden overgenomen, in het geval van 'nee' geldt bij iedere vraag de score = 0.

Vraag	Antwoord	Score menselijk falen Opschepmodel (90%)	Score bediening totaal (100%)	Score bediening totaal afgerond
a1	Is een sluitprocedure aanwezig?	ja		
a2	Wordt de sluitingsprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	ja		
a3	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	ja		
a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	ja	2,88	2,84
				3
b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is	ja	2,26	2,26
		??		2
E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	5,14	5,1
				5

- Indien de vragen a1, a2 én a3 met "ja" zijn beantwoord is, dan is de faalkans voor Bediening E3 =  $1,0 \cdot 10^{-3}$  per vraag.
- Als ook vraag b met "ja" beantwoord kan worden is de faalkans voor Bediening een factor 100 kleiner, dat wil zeggen respectievelijk E3 =  $1,0 \cdot 10^{-5}$ .

### B.3. sheets van het Opschepmodel

#### Bepalen kans P1: geen detectie of foute diagnose



Bepalen kans P2: Geen respons

**P2: Kans op verzuimfout of kans op het niet resetten van een systeem of component na test of onderhoud:**

<b>Werkinstructies</b> <input checked="" type="checkbox"/> Voor de taakuitvoering zijn werkinstructies van belang ( niet routinematige taak)		<b>Prioriteit 1</b> <b>factor = 0,33</b>
<input type="radio"/> Gebruik van werkinstructies en correct gebruik van aftekenmogelijkheid <input type="radio"/> Gebruik van werkinstructies, maar geen aftekenmogelijkheid of werkinstructies worden niet correct gebruikt <input type="radio"/> Geen gebruik van werkinstructies		
<b>Frequentie</b> <input type="checkbox"/> Taak wordt anders dan één keer per 2 weken of per maand uitgevoerd		<b>Prioriteit 2</b> <b>factor = 1,00</b>
<input type="radio"/> Eén keer per dag of enkele dagen <input type="radio"/> Eén keer per kwartaal tot maximaal een half jaar <input type="radio"/> Eén keer per jaar of per meerdere jaren		
<b>Kennis en vaardigheden</b> <input type="checkbox"/> Er is sprake van niet voldoende kennis en ervaring		<b>Prioriteit 3</b> <b>factor = 1,00</b>
<input type="radio"/> Enige kennis en ervaring: een tot enkele jaren ervaring en kennis opbouw in het uitvoeren van handelingen <input type="radio"/> Geen tot weinig kennis en ervaring		
<b>Herhaling</b> <input type="checkbox"/> Er is sprake van herhaling, waardoor de scherpte van personeel afneemt		<b>Prioriteit 4</b> <b>factor = 1,00</b>
<b>Tijdsdruk</b> <input type="checkbox"/> Er is sprake van tijdsdruk		<b>Prioriteit 5</b> <b>factor = 1,00</b>
<input type="radio"/> Weinig tijdsdruk <input type="radio"/> Veel tijdsdruk		
<b>Gepland of ongepland</b> <input type="checkbox"/> Het onderhoud is ongepland		<b>Prioriteit 6</b> <b>factor = 1,00</b>
<b>Aantal acties</b> <input type="checkbox"/> Er is sprake van slechts 1 actie		<b>Prioriteit 7</b> <b>factor = 1,00</b>
<input type="radio"/> Er hoeft niet bewust op de actie te worden gewacht <input type="radio"/> Er moet wel bewust op de actie worden gewacht <input type="radio"/> Er wordt bewust met de actie omgegaan, maar met een belemmerende factor		
<b>Complexiteit</b> <input type="checkbox"/> Er is sprake van een gecompliceerde taak (zoals werken aan verschillende systemen)		<b>Prioriteit 8</b> <b>factor = 1,00</b>
<input type="radio"/> Er wordt op hetzelfde moment aan verschillende systemen gewerkt <input type="radio"/> Er wordt door meerdere personen aan hetzelfde systeem gewerkt		
<b>Afhankelijkheid</b> <input type="checkbox"/> Er is sprake van afhankelijkheid tussen onderhoudsacties		<b>factor = 1,00</b>
<input type="radio"/> Lage mate van afhankelijkheid <input type="radio"/> Hoge mate van afhankelijkheid		

<b>P2</b>	<b>0,10%</b>		1,00E-03	0,00100
-----------	--------------	--	----------	---------



Bepalen kans P3: foutieve uitvoering**P3: Kans op uitvoeringsfout of kans op onjuist resetten van een systeem:**

<p>Werkinstructies</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Voor de taakuitvoering zijn werkinstructies van belang (niet routinematige taak)</p> <p><input checked="" type="radio"/> Gebruik van werkinstructies en correct gebruik van aftekenmogelijkheid</p> <p><input type="radio"/> Geen gebruik van werkinstructies of werkinstructies worden niet correct gebruikt</p>		<p><b>Prioriteit 1</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Nabijheid van componenten</p> <p><input type="checkbox"/> Keuzefout mogelijk door een andere component in de buurt</p> <p><input type="radio"/> Andere component in de buurt die er niet hetzelfde uit ziet</p> <p><input type="radio"/> Andere component in de buurt die er hetzelfde uitziet</p>		<p><b>Prioriteit 2</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Labelen van componenten</p> <p><input type="checkbox"/> Er is sprake van een slechte labelling van componenten</p>		<p><b>Prioriteit 3</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Posities van componenten</p> <p><input type="checkbox"/> Er is sprake van het verstellen van componenten met meerdere posities</p>		<p><b>Prioriteit 4</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Complexiteit</p> <p><input type="checkbox"/> Er is sprake van een andere dan normale taak</p> <p><input type="radio"/> Er is sprake van een (zeer) eenvoudige taak</p> <p><input type="radio"/> Er is sprake van een gecompliceerde taak (zoals werken aan verschillende systemen)</p>		<p><b>Prioriteit 5</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Werkhouding</p> <p><input type="checkbox"/> Er moet vanuit een ongemakkelijke houding worden gewerkt</p>		<p><b>Prioriteit 6</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Tijdsdruk</p> <p><input type="checkbox"/> Er is sprake van tijdsdruk</p> <p><input type="radio"/> Weinig tijdsdruk</p> <p><input type="radio"/> Veel tijdsdruk</p>		<p><b>Prioriteit 7</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Kennis en vaardigheden</p> <p><input type="checkbox"/> Er is sprake van niet voldoende kennis en ervaring</p> <p><input type="radio"/> Geen tot weinig kennis en ervaring</p> <p><input type="radio"/> Enige kennis en ervaring: een tot enkele jaren ervaring en kennis in het uitvoeren van handelingen</p>		<p><b>Prioriteit 8</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Herhaling</p> <p><input type="checkbox"/> Er is sprake van herhaling, waardoor de scherppte van personeel afneemt</p>		<p><b>Prioriteit 9</b></p> <p>factor = 1,00</p>
<p>Afhankelijkheid</p> <p><input type="checkbox"/> Er is sprake van afhankelijkheid tussen onderhoudsacties</p> <p><input type="radio"/> Lage mate van afhankelijkheid</p> <p><input type="radio"/> Hoge mate van afhankelijkheid</p>		<p>factor = 1,00</p>

**P3****0,03%**

3,00E-04

0,00030

**Bepalen kans P4: kans op herstel**

Deze kans is alleen toepasbaar in het rivierengebied en niet aan de kust of merengebied. P4 bestaat uit drie kansen, voor iedere kans activiteit (diagnose, respons, uitvoering) een verschillende herstelkans: P41 t/m P43. De kans op herstel is afhankelijk van de beschikbare en benodigde tijd om te herstellen. Er is aangehouden dat de weer- en stressomstandigheden bij herstel van detectie/foute diagnose en respons nog neutraal zijn, maar dat wanneer een foutieve uitvoering herstelt moet worden deze omstandigheden ongunstig zullen zijn.

- $T_{1/2}$  = De mediane tijd van een beslisser (bedienaar, beslisteam, calamiteitenorganisatie) om een besluit te nemen over de uit te voeren concrete activiteiten:
  - T.b.v. diagnose/geen detectie  $T_a = 15$  min
  - T.b.v. uitvoering bediening  $T_a = 30$  min
- $T_a$  = De tijdsduur nodig voor het uitvoeren van de noodzakelijke acties van de activiteit. In deze case zijn de volgende tijden als representatief ingeschat:
  - Stellen diagnose/ detecteren  $T_a = 30$  min
  - Uitvoering bediening  $T_a = 30$  min
- $T_p$  = De beschikbare tijd voor het uitvoeren van de herstelactie en die procesafhankelijk is. In deze beschouwing gaan we ervan uit dat slechts één activiteit faalt: detectie/diagnose of geen uitvoering of foutieve uitvoering. In dat geval is de beschikbare hersteltijd altijd gelijk aan 24 uur – 5 uur – de tijd die staat om al deze activiteiten correct uit te voeren =  $(24 - 5) \times 60 - (30 + 15) - (30 + 30) = 1035$  minuten.

Responsietijd			Omstandigheden	
$T_p$	$T_a$	$T_{1/2}$		
1035	30	15	<input type="radio"/> Gunstig <input checked="" type="radio"/> Neutraal <input type="radio"/> Ongunstig	

<b>P4</b>
0,001

Herstellen geen diagnose P41

Responsietijd			Omstandigheden	
$T_p$	$T_a$	$T_{1/2}$		
1035	30	30	<input type="radio"/> Gunstig <input checked="" type="radio"/> Neutraal <input type="radio"/> Ongunstig	

<b>P4</b>
0,001

Herstellen geen uitvoering P42

Responsietijd			Omstandigheden	
$T_p$	$T_a$	$T_{1/2}$		
1035	30	30	<input type="radio"/> Gunstig <input type="radio"/> Neutraal <input checked="" type="radio"/> Ongunstig	

<b>P4</b>
0,02

Herstellen foutieve uitvoering P43

## Bijlage C Beschouwing geavanceerde betrouwbaarheidsanalyses van de Meppelerdiepsluis en keersluis Limmel

Deze cases zijn separaat uitgewerkt in rapport *Beschouwing geavanceerde betrouwbaarheidsanalyses van de Meppelerdiepsluis en keersluis Limmel, Een vergelijking van resultaten van geavanceerde risicoanalyses met de standaard foutenbomen + scoretabellen*, A. Casteleijn en B. van Bree, 1 november 2017 [Ref. 5]

## Bijlage D Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade en Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever

Deze cases zijn separaat uitgewerkt in de volgende rapporten:

- Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade, B. van Bree en A. Casteleijn, 1 november 2017 [Ref. 6]
- Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever, B. van Bree en A. Casteleijn, 1 november 2017 [Ref. 7]

## Bijlage E WTI2017 – Verbeteren gedetailleerde toets

Als vertrekpunt voor deze studie is het rapport *WTI 2017 Kunstwerken - Achtergrondrapport toetsspoor Betrouwbaarheid Sluiting I - Verbeteren gedetailleerde toets* [Ref. 1] gebruikt. Om alle documenten op één plaats bij elkaar te houden is dit rapport als losse bijlage toegevoegd.